
BACHELORARBEIT

Herr
Norbert Hopfner

**Die Signalkette bei 'Proton –
das freie Radio' - vom Ausspie-
ler bis zum UKW-Signal**

2015

BACHELORARBEIT

Die Signalkette bei 'Proton – das freie Radio' - vom Ausspie- ler bis zum UKW-Signal

Autor:
Herr Ing. Norbert Hopfner

Studiengang:
Medientechnik

Seminargruppe:
MT08vH

Erstprüfer:
**Herr Prof. Dr.-Ing.
Michael Hösel**

Zweitprüfer:
**Herr Dipl.-Ing.
Peter Lubosch**

Einreichung:
Berlin, 04.05.2015

BACHELOR THESIS

The Signal-Chain at 'Proton – das freie Radio' – From Outplay to FM-Signal

Author:
Mr. Ing. Norbert Hopfner

Course of Studies:
Media-Techniques

Seminar Group:
MT08wH-B

First Examiner:
**Mr. Prof. Dr.-Ing.
Michael Hösel**

Second Examiner:
**Mr. Dipl.-Ing.
Peter Lubosch**

Submission:
Berlin, 04.05.2015

Bibliografische Angaben:

Hopfner, Norbert:

Die Signalkette bei 'Proton – das freie Radio' - vom Ausspieler bis zum UKW-Signal

The Signal-Chain at 'Proton – das freie Radio' – From Outplay to FM-Signal

2015 - 105 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,

Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2015

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Problemstellung eines kleinen, „freien“ Community-Radiosenders	2
1.3 These	2
1.4 Allgemeine Hinweise	3
2 Rahmenbedingungen, gewählte Mittel und Vergleichsmöglichkeiten	4
2.1 Vorstellung von 'Proton – das freie Radio'	4
2.2 Anfänge von 'Proton – das freie Radio'	4
2.3 Signal-Zubringer-Leitungen über das Internet	6
2.4 Übersicht der Signalkette im Blockschaltbild bei 'Proton – das freie Radio'	8
2.5 Laufzeiten des Audiosignals vom Studio zum Sender, Kontroll-Hören	10
2.6 Die Proton-Lösung für Audio-Signalaufbereitung und Übertragung: ein Linux-Computer	10
2.7 Einführung der Barix Übertragungslösung 'Studio Transmitter Link' und 'Reflector' für Vergleiche	11
2.8 Gründe für eine Audio-Übertragung über IP	12
3 Audio-Signalaufbereitung	14
3.1 Wozu eine Signalaufbereitung?	14
3.1.1 Exkurs: 'Loudness War'.....	15
3.1.2 Die Empfehlung R128 der 'European Broadcast Union' (EBU).....	18
3.1.3 Auswirkungen von Loudness auf UKW-Radio-Sender.....	22
3.1.4 Bestimmungen für UKW-Radios.....	22
3.1.5 Radio-spezifische Abwägungen.....	25
3.2 Einsatz von Hard- und Software zur Audio-Signalaufbereitung	26
3.2.1 Geräte konzipiert für die Signalaufbereitung von Radiostationen.....	26
3.2.2 Gerätekosten.....	27
3.2.3 Proton-spezifischer Einsatz von Software zur Audio-Signalaufbereitung	27
3.3 Automatische Lautstärken-Anpassung (AGC)	30
3.4 Sound-Effekte (SFX) zur akustischen Aufbereitung	32
3.5 Überlegungen zur Audio-Signalaufbereitung im Radio	34

4 Übertragung	36
4.1 Was ist eigentlich 'Streaming' und wie funktioniert es?	37
4.1.1 Streaming und 'Progressive Download' anstatt 'Ursprünglichen Down- load'.....	38
4.1.2 Exkurs: Server-Client-Struktur.....	40
4.1.3 On-Demand oder Real-Time-Anwendung.....	40
4.1.4 Live-Streaming für Radio.....	43
4.2 Streaming mit seinen Komponenten	44
4.2.1 Übertragung von Streams, Übersicht.....	44
4.2.2 Source-Client/ Live-Feed/ Speisung/ Encoder.....	46
4.2.3 Streaming-Server.....	47
4.2.4 Streaming-Client: Decoder am Ankunftsort.....	49
4.3 Übertragungslösung bei Proton	50
4.3.1 Der Source-Client von Proton.....	50
4.3.2 Streaming-Server bei Proton.....	51
4.3.3 Zusammenfassung der Übertragungslösung bei Proton.....	55
4.4 Unterschiedliche Streaming-Methoden für den Vergleich	56
4.4.1 Historisches zu Streaming.....	56
4.4.2 Push-Server und Pull-Clients.....	57
4.4.3 TCP versus UDP.....	58
4.5 Alternative Übertragungslösungen	63
4.6 Interessante Fragen und Antworten zu Streaming	64
4.6.1 Ist eine kleine oder große Bitrate für den Stream besser?.....	65
4.6.2 Multicast.....	66
5 Kostenvergleich	68
6 Fazit und Schluss	70
Literaturverzeichnis	X
Anlagen	XI
Eigenständigkeitserklärung	XXXIII

Abkürzungsverzeichnis

1_Vorbemerkung

...Bei den unten angeführten Abkürzungen handelt es sich oft um Fachbegriffe, meist aus englischer Sprache, die üblicherweise nicht übersetzt - sondern auch im Deutschen verwendet werden, da sie das Genannte genau spezifizieren. So weiß z.B. jeder Netzwerk-Techniker auch im deutschsprachigen Raum, was mit der Abkürzung „LAN“ gemeint ist. (Eben das lokale Computer-Netzwerk, mit einem internen und lokalen IP-Adressraum.)

24/7

...24 Stunden am Tag, 7 Tage die Woche; ständige Verfügbarkeit einer Dienstleistung

AGC

...Automatic Gain Control (dt: Automatische Lautstärken-Anpassung) Der Pegel des Signals wird automatisch angepasst.

Codec

...Kunstwort; zusammengefügt aus Coder und Decoder

DAW

...Digital Audio Workstation (dt: digitaler Audio Arbeitsplatz)

DNS

...Domain Name System; Verzeichnisdienst, der den Namensraum des Internets verwaltet

DSL

...Digital Subscriber Line; bezeichnet einen "schnellen" Internet-Zugang, im Gegensatz zum heute völlig veralteten 56k-Modem

EBU

...European Broadcasting Union, Europäischen Rundfunkunion

EDV

...Elektronische Datenverarbeitung

EQ

...Equalizer; Audio-Effekt, der den Frequenzgang verändert

FAQ

...Frequently Asked Questions (dt.: häufig gestellte Fragen); Gewisse Fragen kommen immer wieder zu einem Thema von Neulingen. Zum Nachschlagen gibt es deshalb auf einigen Websites eine FAQ-Sektion.

FM

...Frequency Modulation; oft ist damit die Radio-Übertragung auf UKW (UltraKurz-Welle) gemeint, die Frequenz-Modulation verwendet. Für FM aus dem Englischen ist im Deutschen UKW eine übliche Substitution.

FOSS

...Free Open Source Software

GUI

...Graphical User Interface; Grafische Benutzeroberfläche mit Eingabemöglichkeiten einer Software

http

...Hypertext Transfer Protocol

ID3-tag

...zusätzliche (Musikstück-)Informationen, die in einer Audiodatei (z.B. mp3) abgespeichert werden, wie z.B Künstler, Musiktitel, Album, Genre

IP

...Internet Protokoll

IP-TV

...Internet Protocol – Television; Fernsehen über das Internet

ITU

...International Telecommunication Union

kbps

...kilo-bit per second

LADSPA

...Linux Audio Developer's Simple Plugin API; Plugin-Format/ Software-Protokoll für Audio-Effekte unter Linux; verwandt mit dem VST-Plugin-Standard

LAN

...Local Area Network; lokales Computer-Netzwerk, mit einem internen und lokalen IP-Adressraum

LUFS

...Loudness Units relative to Full Scale; Maßeinheit für den gewichteten, absoluten Pegel; Bewertung nach EBU R.128

MPX

...Multiplex; steht für Multiplexverfahren für FM-Stereo; Das MPX-Signal beinhaltet das Summensignal (L+R), das Differenzsignal (L-R) und weiteren Informationen.

ms

...Millisekunden

QoS

...Quality of Service

RMS

...Root Means Square, Effektivwert

RTP

...Realtime Transport Protokoll

RTSP

...Real Time Streaming Protocol

SFX

...Sound Effects, Audio-Effekte

SIP

...Session Initiation Protocol

SMTP

...Simple Mail Transfer Protocol

STL

...Studio Transmitter Link; Damit ist die Verbindung vom Studio zum Sender gemeint, mit der das Audio-Signal übertragen wird.

SW

...Software

TCP

...Transmission Control Protocol

UDP

...User Datagram Protocol

UKW

...Ultrakurzwelle; bezeichnet das Frequenzband auf dem Analog-Radio typischerweise ausgestrahlt wird.

URL

...'Uniform Resource Locator'; Adresse einer Webseite im 'world wide web', Internet-Adresse

VST

...Virtual Studio Technology; Plugin-Format/ Software-Protokoll für Audio-Effekte in Schnittprogrammen, dass sich zum Industriestandard etabliert hat

WAN

...Wide Area Network

WWW

...World Wide Web

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: analoge unidirektionale Leitungsführung zwischen den zwei Studios und den zwei Sendern vor 2009	5
Abbildung 2: Signalkette vom Ausspieler (Audiosignal von der Sende-Automatisierung her bzw. live aus dem Studio) bis zum UKW-Signal, das vom Sender ausgestrahlt wird	8
Abbildung 3: Normalisierung auf Spitzen, Quellennachweis 20	16
Abbildung 4: Veränderungen bei Musikproduktionen im 'Loudness War', Quellennachweis 22	17
Abbildung 5: Normalisierung nach Loudness, Quellennachweis 33	19
Abbildung 6: QjackCtl-Verbindungsfenster; Anzeige des Patching im Audio-Server 'jackd'; Routing Veranschaulichung	29
Abbildung 7: Multiband-Kompressor-Anzeige der Linux Soundprocessing-Software Jamin	32
Abbildung 8: TCP-Streaming erklärt in der Server-Client-Struktur	45
Abbildung 9: Icecast2-Server-Status für die Streams am Port 8000 auf 'RadioProton.at'	53
Abbildung 10: Streaming-Server-Topologie bei 'Proton – das freie Radio'	54
Abbildung 11: Netzwerk-Verkehr eines Testgerätes, dass ein http-Stream bezieht (Pull)	60
Abbildung 12: Netzwerk-Verkehr eines Streaming-Servers, der ein RTP-Stream verschickt (Push)	62
Abbildung 13: Frequenzhub und MPX-Leistung von Proton 101.1, gemessen mit der Deva UKW-Monitor-Software	XVII
Abbildung 14: Frequenzhub und MPX-Leistung von Ö3 88.6, gemessen mit der Deva UKW-Monitor-Software	XVIII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Monatliche Kosten der analogen Standleitungen	5
Tabelle 2: Kostenaufstellung im Vergleich	69

1 Einleitung

Diese wissenschaftliche Arbeit beschreibt die Signalkette bei 'Proton – das freie Radio'. Es handelt sich hierbei um eine kleine Radiostation in Vorarlberg, Österreich. 2009 wurde dort die Umsetzung der Signal-Übertragung per Internet vorgenommen. Als 2010, 2011 eine bessere Audio-Signalaufbereitung dazu kam, wurde der Signalfluss vom Ausspieler bis zum Sender nochmals überarbeitet.

1.1 Zielsetzung

Die Bachelorarbeit soll (Medien-)Techniker ansprechen, die mit günstigen Mitteln eine Sendekette realisieren wollen. Hintergrund-Informationen zum Kontext und Interviews mit Experten werden die einzelnen Bausteine erläutern und wissenschaftlich-empirisch aufarbeiten.

In einzelnen Punkten, die von Nutzen sind, wird ausführlich beschrieben:

- analytisch
 - Die Signalkette als Ganzes, auseinander genommen und in unterschiedliche Bereiche zerlegt
 - Übertragungsmöglichkeiten über das Internet
 - Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften zur UKW-Ausstrahlung
 - Audio-Signalaufbereitung von Radiosendern
- synoptisch (vergleichende und bewertende Darstellung)
 - Kostenbewertungen
 - unterschiedliche Übertragungsmöglichkeiten über das Internet
 - unterschiedliche Signalaufbereitungsmöglichkeiten für das Radio
- synthetisch

(Jeder Bereich der Sendekette wird unter die Lupe genommen und erklärt.)

 - Zusammensetzung der einzelnen Module und Vorstellung (Ein Blockschaltbild davon ist auf Seite 8 abgebildet.)
 - Automatische Lautstärken-Anpassung (AGC)
 - Multiband-Kompressor

- Equalizer
- Limiter
- Frequenzhub RMS-Limiter
- Streaming: Source-Client
- Streaming-Server
- TCP-Internet-Stream
- Streaming-Client

1.2 Problemstellung eines kleinen, „freien“ Community-Radiosenders

- Geringes Budget für technische Gerätschaften
 - Einsatz von FOSS (Free and Open Source Software)
- Aufbereitung des Audiosignales vor der Ausstrahlung
 - marktübliche Praxis
 - gesetzliche Vorschriften
- Umstellung der Zubringerleitung auf das Internet → Einsparung von teuren Leitungskosten
- Gesetzlicher Rahmen bzw. die Rückwirkung von Ausstrahlungsvorschriften im UKW-Radio auf die Audio-Aufbereitung

1.3 These

Es ist möglich, mit geringen Mitteln einen UKW-Sender zu betreiben, wenn die Ansprüche auf Ausfall-Sicherheit und bestmöglichen Frequenzhub bzw. maximal erlaubte Sende-Signal-Aussteuerung nicht gestellt werden.

1.4 Allgemeine Hinweise

Diese Bachelorarbeit wird **NICHT eingehen** auf ein allgemein gültiges, vollständiges Modell oder die Aufzählung aller Bausteine einer generell möglichen Sendekette. (Zu unterschiedlich und vielfältig sind hierzu die Möglichkeiten.) Grundlagen werden generell erklärt und angesprochen.

Viele Abkürzungen sind im sprachlichen Umgang zu Synonymen geworden und stehen für sich eigenständig (z.B. UKW, LAN, ...). Zum besseren Verständnis wurde eine Vorbemerkung zum Abkürzungs- und Stichwortverzeichnis geschrieben.

Zu den Quellen gehören v.a. deutsch- und englischsprachige Websites. Aktuelle und zeitgemäße Fach-Informationen sind im Internet erhältlich. Aber auch Experten-Interviews, Mailanfragen, Bücher und Fachartikel fließen in diese Arbeit ein.

Auch wenn in dieser Bachelorarbeit die männliche Form verwendet wird, beziehen sich alle Personenbezeichnungen auf beide Geschlechter.

2 Rahmenbedingungen, gewählte Mittel und Vergleichsmöglichkeiten

2.1 Vorstellung von 'Proton – das freie Radio'

'Proton – das freie Radio' ist ein kleines Community-Radio mit offenem Zugang. Das bedeutet, dass jeder interessierte und engagierte Mitbürger eine Radiosendung (mit)gestalten und Studiotchnik bedienen kann. Hierfür ist nicht mehr als eine kurze Einschulung notwendig. Proton sendet 24/7 und strahlt ein vielfältiges Programm in mehreren Sprachen aus. Rund 40 Sendungsmachende arbeiten ehrenamtlich daran, weil sie Radio machen wollen.

2.2 Anfänge von 'Proton – das freie Radio'

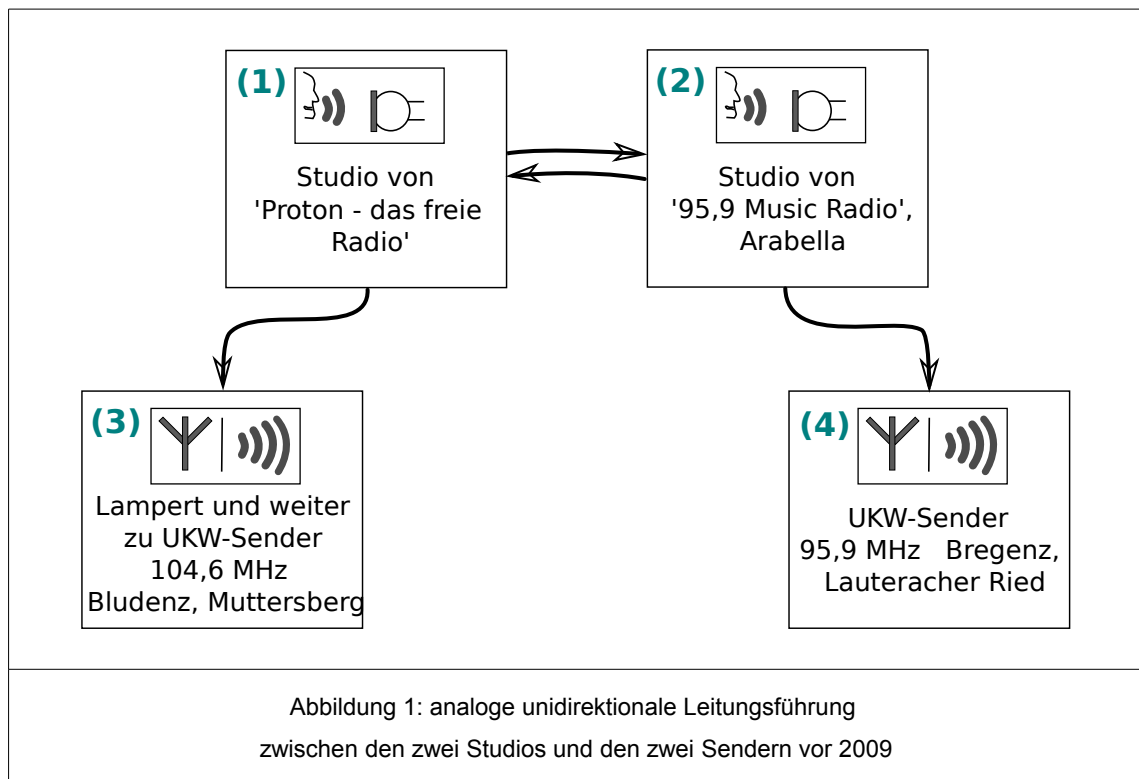
In Österreich ist das Rundfunk-Monopol erst spät gefallen. Eine Beschwerde beim Europäischen Gerichtshof für Menschenrechte brachte das Urteil, „*dass das Rundfunkmonopol einen Eingriff in die Ausübung des Rechts auf Verbreitung von Informationen und Ideen darstelle.*“¹ Proton befand sich unter den Bewerbern der ersten Ausschreibungen für Radio-Frequenzen in Österreich.

'Proton – das freie Radio' ging erstmals am 31. März 1999 on air. Der Verein 'Dachverband für Medieninitiativen und Jugend' hatte die Ausschreibung für das Versorgungsgebiet Bludenz (A) zugesprochen bekommen. Angesucht hatte der Verein für Bregenz und Bludenz. Die Frequenz für Bregenz wurde dem Junior eines großen Bauunternehmens gegeben. Mit ihm schloss Proton einen Frequenz-Teil-Vertrag ab, in dem vereinbart wurde, dass beide Radiostationen beide Sender bespielen, jeweils zu anderen Zeitfenstern. Das Radioprogramm des Junior-Bauunternehmers ging in Bregenz und in Bludenz tagsüber 'on air' und in der Nacht 'Proton - das freie Radio'.

Proton erhielt die nötige Infrastruktur vom Junior-Bauunternehmer. Er kam damit seinem Eigeninteresse nach, die Frequenz von Proton als Zweite mitbenutzen zu können, um so sein Ausstrahlungsgebiet zu vergrößern. Das kam dem Verein um Proton entgegen. Die Ideen für ein Radioprogramm waren da, Geld für Sendeanlagen aber nicht.

1 Vgl. <http://www.freie-radios.at/entwicklung.html> Entwicklung der freien Radios in Österreich, 2015-04-11

Aufgrund der Konstellation zwischen den Beiden gab es 2 Studios und 2 Sender. Die Sender wurden mit unterschiedlichen Signalen beliefert. Eine Darstellung der Situation ist unten in der Grafik abgebildet.



Eine Kostenaufstellung für die analogen Standleitungen ist unten angeführt. Die analogen Leitungen waren nicht bidirektional, sondern unidirektional; d.h. sie konnten nur in eine Richtung betrieben werden. Für die zweite Richtung brauchte es eine zweite Leitung.

Leitung	Kosten/Monat
(1) → (2): Studio Proton → Studio 95,9	531 €
(1) → (3): Studio Proton → Sendereinspeisung 104,6 MHz, Bludenz, Muttersberg	1'105 €
Summe für Proton:	1'636 €
Geschätzte Leitungskosten für Junior-Bauunternehmer	
(2) → (1): Studio 95,9 → Studio Proton	531 €
(2) → (4): Studio 95,9 → Sender 95,9 MHz, Bregenz, Lauteracher Ried	531 €

Tabelle 1: Monatliche Kosten der analogen Standleitungen

Die Leitungskosten für die Zubringung zu den Sender-Standorten betrug monatlich 1'636 Euro für Proton.

Der größte Fördergeber, der Bund Österreich, fiel 2001 komplett weg. Die Koalitionsregierung von ÖVP und FPÖ (schwarz-blau, Österreichische Volkspartei und Freiheitliche Partei Österreich) hatte die Förderung von dem Jahr 1999 auf 2000 halbiert und dann ganz gestrichen.² Einer der wenigen anderen Geldgeber war der Junior-Bauunternehmer, der sein Standbein im Sendegebiet Bludenz nicht verlieren wollte. Nachdem diese schwarz-blaue Regierung im Oktober 2006 abdanken musste³, wurde auch wieder eine Bezuschussung der freien Radios möglich. Proton erhält inzwischen wieder, nach Eingabe der dafür benötigten Anträge, regelmäßig Bundesförder-Gelder.

2.3 Signal-Zubringer-Leitungen über das Internet

Proton bietet schon seit ca. 2003 einen Internet-Stream des Live-Programms an. Mit dem Stream können auch Hörer außerhalb des UKW-Sendegebiets erreicht werden.

Wegen der hohen Kosten für die analogen Leitungen sollte ein anderer Weg gesucht werden. Der Junior-Bauunternehmer zog sich 2009 aus der Radiobrache zurück⁴ und war somit nicht mehr bereit, Leitungsgebühren zu übernehmen.

Daraus resultierte die Aufgabe bei Proton, die Übertragung über Streaming zu realisieren, um die teuren analogen Leitungen einzusparen.

Kostenersparnis: Sendesignal-Zubringer über das Internet

Das Internet wird getragen von kleineren Teilnetzen, die mit „Backbones“ verbunden sind. Das sind leistungsstarke „Hintergrundnetze des Internets“, die von großen Netzbetreibern unterhalten werden. Die Verbindungen sind in einem gut ausgebauten Netzwerk redundant abgesichert.⁵ Datenpakete können so ihren Weg durch die Weiten des Internets (WAN) auf unterschiedliche Weise nehmen.

2 Vgl. <http://freie-radios.at/article.php?id=52> „Geschichte der Freien Radios in Österreich“, 2014-12-21

3 Vgl. <http://www.profil.at/articles/1004/560/260754/das-experiment-hintergru%C3%BCnde-folgen-wende-jahren> „Das unheilige Experiment: Hintergründe und Folgen der schwarz-blauen Wende vor zehn Jahren“, 2014-12-21

4 <http://derstandard.at/1246543712995/Arabella-Bregenz-Radio-gibt-auf-Zu-wenige-Frequenzen> „Bregenz-Radio gibt auf: Zu wenige Frequenzen“, 2014-12-21

5 Vgl. <http://www.teltarif.de/internet/backbone.html> „Backbones - die leistungsstarken Hintergrundnetze des Internets“, 2014-12-21

Die Kosten für die analogen Zubringer-Leitungen bei Proton wurden pro Kilometer berechnet. Im Gegensatz dazu muss nicht der einzelne Nutzer für die Netzwerkkosten des Internets aufkommen. Die zurückgelegten Leitungslängen und Wege der Daten im Internet sind bezüglich der Kosten irrelevant, weil die Infrastruktur nicht bezahlt werden muss. Somit sind Entfernungen weniger wichtig als eine starke Anbindung an das Internet. Ein Sendesignal-Zubringer über das Internet kann kostengünstig eingerichtet werden.

Das ist ein wichtiger Pluspunkt dieser Lösung.

2.4 Übersicht der Signalkette im Blockschaftbild bei 'Proton – das freie Radio'

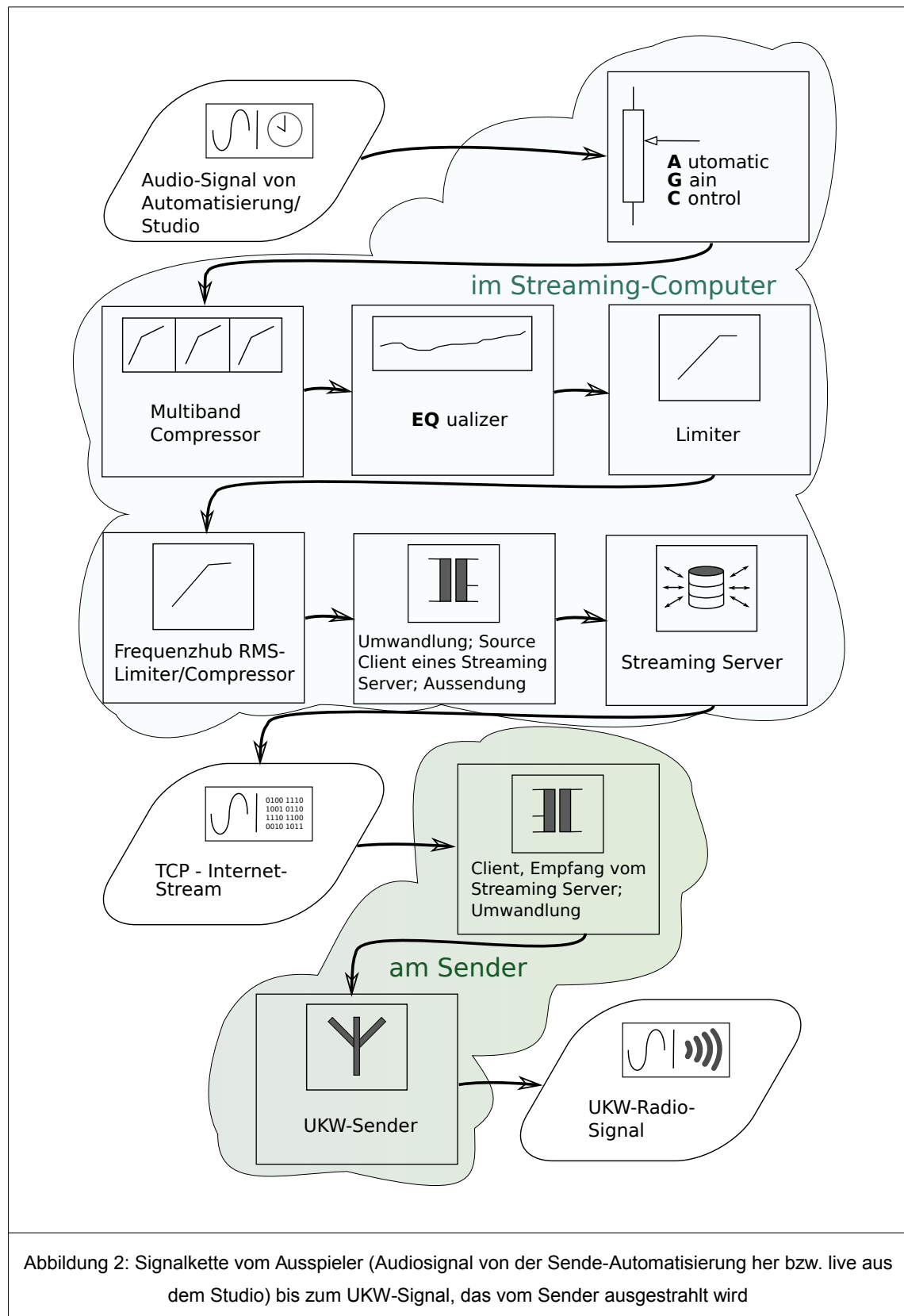


Abbildung 2: Signalkette vom Ausspieler (Audiosignal von der Sende-Automatisierung her bzw. live aus dem Studio) bis zum UKW-Signal, das vom Sender ausgestrahlt wird

Die Signalkette kann ganz grob in zwei Schritte der Verarbeitung aufgeteilt werden. Sie spiegelt sich in den großen Kapiteln der Arbeit wieder:

- Audio-Signalaufbereitung, Effekte
- Übertragung vom Studio zum Sender-Standort

Beide können mit dem klassische EVA-Prinzip der EDV, Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe, betrachtet werden. Das Dazwischen soll diese Bachelorarbeit behandeln und erklären, damit es nicht länger eine „black box“ bleibt. Das Ausgangssignal der Audio-Signalaufbereitung wird direkt und kaum augenscheinlich in die Übertragung eingeführt, um dann zum Sender zu gelangen.

Obwohl Proton mehrere Sender versorgt, wird der Einfachheit halber nur einer erwähnt. Das Prinzip für einen oder mehrere Stream-Clients bleibt das Gleiche.

Am Eingang der betrachteten Signalkette liegt das Audiosignal an, das aus der Sende-Automatisierung kommt. Die Automatisierung setzt das Programmschema, den eingegebenen „Fahrplan“, um. Bei Live-Betrieb wird das Audiosignal aus dem Studio durchgeschleift. Bei Programmpunkten „aus der Konserve“, das sind vorproduzierte Sendungen, Sendungsübernahmen von anderen freien Radios oder Musik-Playlists, spielt der Rechner die Audiodateien ab. Dieses Signal des Automatisierungsrechners dient als Eingabe (E)/ Input des Streaming-Computers.

Das Input-Audiosignal wird den Anforderungen an ein Radio-Sendesignal entsprechend verarbeitet (V). Da jedes Musikstück und auch die vorproduzierten (teils übernommenen) Sendebeiträge unterschiedliche Lautstärken aufweisen, macht eine Anhebung der Lautstärke Sinn (mitunter ist auch eine Senkung nötig, beispielsweise bei Musikstücken, die im 'loudness war' entstanden sind, siehe dazu Kapitel 3.1.1 Exkurs: 'Loudness War') . Der englische Begriff für die automatische Lautstärke-Regelung ist 'Automatic Gain Control' (AGC). Weitere Beschreibungen zur Verarbeitung sind in den folgenden Kapiteln zu den einzelnen Bausteinen/ Modulen zu finden.

Die schlussendliche Ausgabe (A) der Übertragung ist die Ausstrahlung des UKW-Senders.

2.5 Laufzeiten des Audiosignals vom Studio zum Sender, Kontroll-Hören

Proton-spezifische Laufzeiten

Bei Proton wird bewusst kein Ausgangssignal der Audio-Signalaufbereitung zurück geschleift, um niemanden durch ein zeitversetztes „Echo“ zu irritieren. Wegen der unterschiedlichen Signal-(Durch)Laufzeiten (vom Automatisierungsrechner und den Effekten), wäre eine deutlich längere Zeit als 50 Millisekunden zu erwarten. Ein rückgespeistes Signal würde von Menschen als Eigenständiges empfunden werden.⁶ Aufgrund der hohen Laufzeit ist es zum Monitor-Hören für Moderatoren und Sprecher völlig ungeeignet.

Die Laufzeit des Signals zum Sender bei der momentanen Lösung von Proton beträgt zirka 11 Sekunden. Zum Einen entsteht diese Verzögerung durch den Weg zum Sender über das Internet (Übertragung). Außerdem verbraucht das Programm für die automatische Pegel-Anpassung (AGC, Automatic Gain Control) weitere 5 Sekunden.

Die Verzögerung ist im Sendeablauf irrelevant. Es gibt keine „pünktlichen“ Nachrichten, wie in öffentlich-rechtlichen und privaten Radiostationen üblich. Entscheidend für „freie Radios“ ist die kontinuierliche Aussendung und Ausstrahlung. Ein paar Sekunden Versatz sind nicht von Bedeutung.

2.6 Die Proton-Lösung für Audio-Signalaufbereitung und Übertragung: ein Linux-Computer

In den Anfangsjahren von 'Proton – das freie Radio' wurde sich nicht um ein Sendesignal gekümmert, das den Standards des Marktes entsprach. Vor 2009 kam ausschließlich ein normaler, handelsüblicher Limiter zum Einsatz. Das Signal wurde dementsprechend von den Morscher Brüdern, die den Sender betreuten und warteten, zurückhaltend eingestellt. Trotzdem kam es zu Abmahnungen und Strafen. Ein paar Sendungsmacher hielten sich nicht an Absprachen und übersteuerten den Eingang des Limiters maßlos.

6 Vgl. <http://www.sengpielaudio.com/Echoschwelle.pdf> , 2015-05-05

Für die Lösung bei Proton wurde ein Linux-Computer heran gezogen, der die Audio-Signalaufbereitung und die Übertragung zu weiten Teilen auch heute noch übernimmt. Die verwendete Software ergab sich meist aus den beschränkten Auswahlmöglichkeiten.

Der erfahrene Studio-Tontechniker, Heinz Luschtinez, empfahl 2010 die Anschaffung eines Orban Optimod. Die meisten Radiostationen haben einen Optimod im Einsatz.

Aus Kostengründen (3'390 €, Angebotsdatum August 2010, Orban 'Optimod-FM 5500') wurde der Optimod nie angeschafft. An seiner Stelle wurde 2014 ein preisgünstigeres Gerät (1'250 €, Anschaffung Frühling 2014, IDT 'Encoder plus') eingekauft.

2.7 Einführung der Barix Übertragungslösung

'Studio Transmitter Link' und 'Reflector' für Vergleiche

In der Vergangenheit hatten sich die Ingenieure von Barix ebenfalls darüber Gedanken gemacht, wie das Audiosignal einer Radiostation vom Studio zum Sender gebracht werden kann. Barix ist eine Firma, die ihre Kompetenz in „*Audio over IP*“⁷ sieht, der Übertragung von Audio über IP-Netzwerke. Radiobetreiber sind ein wichtiger Kundestamm dieser Firma. Für die Signalübertragung vom Studio zum Sender via Internet hat Barix die Lösung des 'Studio Transmitter Link' (kurz 'STL')⁸ geschaffen. Laut Aussagen von David Gostick am 9. Februar 2015, dem Produktmanager für STL, zog das viele Support-Anfragen bezüglich der richtigen Konfiguration nach sich. Zur leichteren Bedienbarkeit führte Barix daher den 'Reflector'-Service ein.⁹ Dieser bietet eine stark vereinfachte Erst-Konfiguration. Der Kunde benötigt keine eigene fixe IP-Adresse. Das Abrechnungsmodell ist monatlich. Beide Barix-Lösungen tragen Anschaffungskosten nach sich.

7 Titel der Homepage <http://www.barix.com/> „Audio over IP : IP Intercom : IP Paging : Soundscape - Barix AG“, 2015-02-15

8 Vgl. <http://www.barix.com/solutions/broadcast/barix-stl/> „Studio transmitter link“, 2015-02-15

9 Vgl. <http://www.barix.com/solutions/broadcast/reflector/> „STL and stream replication made easy with Barix Reflector“, 2015-02-15

Für den Vergleich mit der realisierten Übertragungslösung bei 'Proton – das freie Radio' bietet sich der 'Studio Transmitter Link' ohne 'Reflector' sehr gut an, weil beide auf der gleichen Technik beruhen. Das Übertragungsmedium ist ebenfalls das Internet.

Die Barix-Lösung bietet einige Einstellungs- und Übertragungsmöglichkeiten mehr zur Auswahl. Betrachtungen und Vergleiche sind aufschlussreich und veranschaulichen, wie ein Internet-Zubringer vom Studio zum Sender realisiert werden kann.

2.8 Gründe für eine Audio-Übertragung über IP

Einige entscheidende Gründe, wie der **Kostenfaktor**, wurden schon in den vorherigen Kapiteln angesprochen und genannt. Bisher noch nicht zur Sprache kam ein wichtiger Punkt für Proton: Die **technischen Möglichkeiten** waren **gegeben**, als 2009 die Audio-Übertragung über Internet Protokoll (IP) eingeführt wurden. Das Studio war über eine schnelle Internet-Leitung angebunden. Die Übertragungsgeschwindigkeit betrug mehrere Megabit-pro-Sekunde und war symmetrisch (gleiche Up- und Download-Werte). Auch die Sender konnten mit einem DSL-Anschluss ausgerüstet werden bzw. die Leitung, die zum Sender führte.

Barix führte auf ihrer Homepage Gründe für IP-basierende Audio-Distribution an¹⁰. Unter anderen sind das der Kostenfaktor, Ausfall-Sicherheit und Verhalten im Fehlerfall (E-Mail-Versand). Diese Gründe beeinflussen ganz generell eine Entscheidung für Audio über IP:

- „*Eliminates the cost of leased line copper from the phone company for your backup STL*“¹¹, frei übersetzt: „Beseitigt die Kosten für die gemieteten Kupferleitungen von der Telefongesellschaft für den unterstützten 'Studio Transmitter Link'“ - Damit ist der althergebrachte 'Studio Transmitter Link' gemeint, der, nach Etablierung des Neuen, eliminiert werden kann. Das gilt generell für den Ansatz 'Audio über IP'. Dieser lässt teure analoge Leitungen einsparen.
- Bei Fehlfunktion kann ein E-Mail von beiden Barix STL-Varianten versendet werden. (Das ist unter den Features angeführt als „*SNMP / SMTP / relay alert*“)

¹⁰ Vgl. <https://web.archive.org/web/20120604064627/http://www.barix.com/Broadcast/991/> „Broadcast without boundaries“, 2015-02-12

¹¹ <https://web.archive.org/web/20120604064627/http://www.barix.com/Broadcast/991/> „Broadcast without boundaries“, 2015-02-12

notifications“.¹²⁾ Die Zuständigen können sich somit über wichtige Vorfälle wie einen Sender-Ausfall informieren lassen. Die Ausfallszeiten sollen so kurz gehalten werden und das Radio 24/7 durchlaufen und ausstrahlen.

Im Fall von Proton wurde hier kein Informationssystem für den Fehlerfall aufgebaut. Es kann über eine web-Adresse nachgeschaut werden (Monitoring), ob denn die Streams, wie gewünscht, abgeholt werden – wenn das aber nicht der Fall ist, gibt es keine Warnung. Das wurde bei der Einführung zugunsten der geringeren Kosten in Kauf genommen - genauso wie erhöhte Fehler-Anfälligkeit.

Die Ausfall-Wahrscheinlichkeit hatte der Sender-Techniker Christoph Lindenmaier (†) 2008 als klarer Nachteil der IP-Technik erklärt. Er war davon überzeugt: Analoge Leitungen seien sicherer, dafür aber teurer.

Barix will sich mit ihren Produkten von einer höheren Fehler-Quote bei Computern abheben und weißt darauf hin, dass ihre Geräte 'sehr zuverlässig'¹³ sind.

- „*Low bandwidth requirements (adjustable encoding type and quality)*“¹⁴, übersetzt: „Kleine Bandbreite-Anforderungen (verstellbarer Encoding-Typ und -Qualität)“ - Die Bandbreite für die Übertragung ist abhängig von der Encodierung (Audio-Codec) des Audio-Signals und der Qualitätseinstellung dafür. Daraus ergibt sich die Bitrate des Streams. Das ist sowohl bei Barix STL als auch bei der Proton-Lösung so. Weiterführende Informationen hierzu sind im Kapitel 'Ist eine kleine oder große Bitrate für den Stream besser?' zu finden.

12 <http://www.barix.com/solutions/broadcast/barix-stl/> „Studio transmitter link“, 2015-02-15

13 Vgl. <https://web.archive.org/web/20120604064627/http://www.barix.com/Broadcast/991/> „Broadcast without boundaries“, 2015-02-12

14 <https://web.archive.org/web/20120604064627/http://www.barix.com/Broadcast/991/> „Broadcast without boundaries“, 2015-02-12

3 Audio-Signalaufbereitung

3.1 Wozu eine Signalaufbereitung?

In der Audiotechnik hat sich über die Jahrzehnte einiges verändert. Bei 'Proton – das freie Radio' kommen Musikstücke und Sprachbeiträge von ganz unterschiedlicher Lautstärke und Qualität zusammen. Dem Hörer von Proton soll das aber so gut wie möglich verborgen bleiben. Ziel ist es, den Sender homogen wirken zu lassen. Mit Hilfe der Audio-Signalaufbereitung werden Unterschiede aneinander angeglichen.

Eine große Herausforderung dabei ist die Lautstärke. Die sehr unterschiedlich lauten Materialien sollen gleich laut gesendet werden. Eine Anpassung des Pegels übernimmt das 'Automatic Gain Control'-Modul. (Erklärungen dazu im Kapitel: '3.3 Automatische Lautstärken-Anpassung (AGC)') In der Regel funktioniert das so gut, dass der Zuhörer nicht den Lautstärke-Regler betätigen muss. Der leiser abgemischte Sprachbeitrag wird im Pegel angehoben. Ein folgender Song wird abgesenkt, wenn er laut abgemischt wurde. Die AGC regelt laufend automatisch nach und gleicht die Pegel an. Große, störende Unterschiede werden so ausgeglichen und erreichen den Hörer gar nicht.

In der Signalaufbereitung werden aber auch andere Werte wie Bass und Höhen angepasst (Equalizer). Ein Multiband-Kompressor kommt zum Einsatz, der eine „*effektive Lautheitsmaximierung*“ ermöglicht.¹⁵

Abschließend kommen noch Signal-Bearbeitungen hinzu, um die Werte für Frequenzhub und Modulationsleistung bei UKW im gesetzlichen Rahmen zu behalten. (Genaue Einzelheiten darüber sind im Kapitel '3.1.4 Bestimmungen für UKW-Radios' zu finden.) Die Ausnützung der gesetzlich maximal erlaubten Werte, bis zu den Grenzwerten hin, wird beim Senderwechsel im Vergleich hörbar.

¹⁵ Dickreiter Michael [et al]; 2008, S. 334

In den nächsten Kapiteln wird der 'Kampf um wahrgenommene Lautheit' eingegangen, auch im Deutschen bekannt unter dem Begriff 'Loudness War'. Dem gegenüber stehen die Grenzen bei UKW, gesetzt durch die gesetzlichen Regulierungsvorschriften.

3.1.1 Exkurs: 'Loudness War'

In der digitalen Audiotechnik gibt es eine obere Begrenzung der Spitzen(werte) des Pegels: '0 dB Full-Scale'. Es gibt keine aufgezeichneten Spitzen, die über die Signal-Skala hinaus reichen. Größere Spitzenwerte werden digital nicht mehr ihrem Wert entsprechend, sondern als Maximum (0 dB_{FS}), erfasst.

In der Tontechnik ist es üblich, einen Headroom einzuhalten, um Übersteuerungen zu vermeiden. Signale, die zu laut sind, werden von Aufnahmegeräten nicht mehr richtig aufgezeichnet. Bei digitalen Aufnahmen wird der zu laute Teil abgehackt bzw. abgeschnitten (manche Geräte zeigen ein Clipping an).¹⁶ *„Es entsteht ein Rechtecksignal, das als kratzen und knacken [sic] hörbar wird und die Aufnahme unwiderruflich verdirbt.“*¹⁷ Analoge Elektronik hingegen zeichnet bei Übersteuerung ein verzerrtes Signal auf. Die Wellenform ist nicht ideal, aber immerhin noch „rund“. Manche Musiker und Sound-Ingenieure arbeiten kreativ mit analogen Übersteuerungen.¹⁸ Bei Tonband-Aufnahmen bewirkt eine Übersteuerung eine elektromagnetische Sättigung des Tonbands, *„was zu unangenehmen Klangverfälschungen führt“*¹⁹, wenn die Aufnahme später angehört wird.

Bei Produktionen für den Markt wird beim Abmischen, dem Mastering, die Spitzenpegel des Stücks an die 0 dB_{FS} heran geschoben/ normalisiert. Das veranschaulicht Florian Camerer in der nachfolgenden Grafik. Er ist Tonmeister und Chairman der Projektgruppe zu Loudness 'PLOUD' in der Europäischen Rundfunkunion, EBU. (Freundlicherweise hat er die Verwendung seiner Bilder in dieser Bachelorarbeit genehmigt.)

16 Vgl. http://masterclass-sounddesign.com/content_wissenstest/techn_vorauss_antworten.htm , 2015-04-03

17 http://masterclass-sounddesign.com/content_wissenstest/techn_vorauss_antworten.htm , 2015-04-03

18 Vgl. <http://www.realhd-audio.com/?p=2181> , „Analog vs. Digital Clipping“ , 2015-04-18

19 <http://staff-www.uni-marburg.de/~naeser/cassrec1.htm> , 2015-04-03

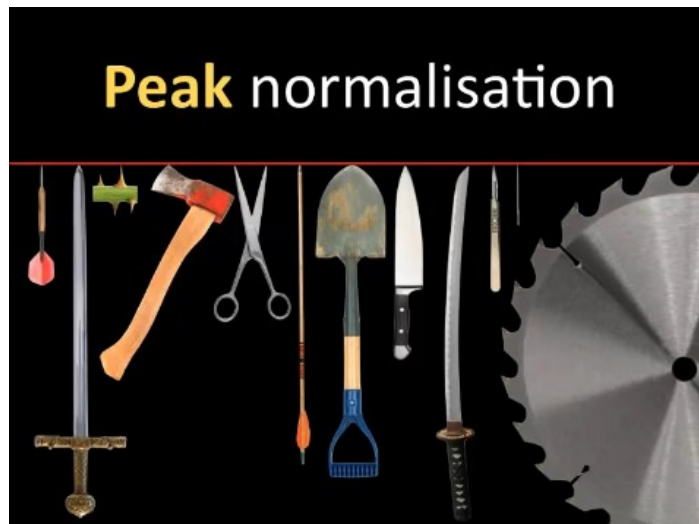


Abbildung 3: Normalisierung auf Spitzen, Quellennachweis 20

Im Mastering finden einige klangliche Maßnahmen statt, darunter auch die Dynamik-Kompression. Seit den Anfängen der digitalen Audiotechnik in den 80er hatte sich der Einsatz von Kompressoren kontinuierlich gesteigert. Der Grund dafür ist: Beim ersten Höreindruck nimmt der Mensch eine lautere Abmischung als die klanglich Bessere wahr.²¹ Ein Wettstreit um den lauterer Mix, der 'Loudness War' entstand.

Die Lautheitssteigerung wird erreicht durch Audio-Kompression bzw. das Verkleinern des Dynamik-Bereichs. Nach dieser Maßnahme kann der Pegel angehoben/ normalisiert werden. Der Mix wird lauter. Die Steigerung ist an den folgenden Bildern aus Wiki-media gut zu sehen.

²⁰ Bild übernommen von Florian Camerer, mit freundlicher Genehmigung vom 2015-04-13

²¹ Vgl. <http://www.audio.de/ratgeber/report-lautstaerke-normalisierung-loudness-war-2771603.html> , „Report Lautstärke-Normalisierung statt Loudness War“, 2015-04-04

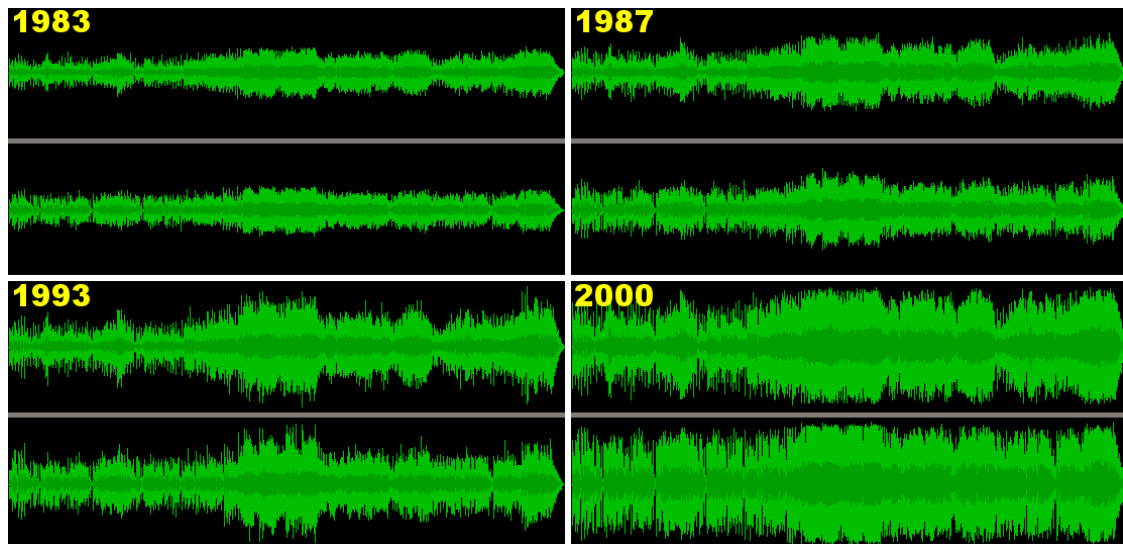


Abbildung 4: Veränderungen bei Musikproduktionen im 'Loudness War', Quellennachweis 22

Die Abbildung 4 soll die Veränderungen am Song 'Something' von den Beatles zeigen, schreibt der Uploader. Anhand der Hüllkurven (Spitzenwerte) und der inneren Kurven (Effektivwerte, RMS) von unterschiedlichen Abmischungen wird veranschaulicht, was im Loudness-War passierte.

Die Kunst des Mastering ist es, die Mischung laut zu machen, das Audiomaterial aber nicht zu stark in den Spitzen und Transienten zu beschränken, so dass es noch gut klingt. Über die Grenzen und den guten Geschmack ist sich die Fachwelt uneinig. Das Wettfeiern um Loudness würde einige Produktionen Richtung „Vollaussteuerungsgrenze“ (0 dB_{FS}) gehen lassen, so dass „kaum mehr als 3 dB“ in der Dynamic-Range bliebe,²³ meint im Dezember 2014 'audio.de', ein Hi-Fi-Portal im Internet. „Damit sind sie [die Abmischungen] in Sachen Lautstärke extrem durchsetzungsfähig. Genau das also, was ihre Macher wollten“.²⁴

Im 'Loudness War' spielt der Wettbewerb eine wichtige Rolle. Produzent 'Butch Vig' sagte in einem Interview der Zeitschrift 'Rolling Stones', Kompression wäre ein nötiges Übel. Künstler würden wettbewerbsfähig klingen wollen. Sie, die Produzenten, hätten die Messlatte erhöht und es gäbe kein wirklich möglichen Schritt mehr zurück.²⁵

22 Bilder von http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cd_loudness_trend-something.gif, „File:Cd loudness trend-something.gif“, 2015-04-18

23 Vgl. <http://www.audio.de/ratgeber/report-lautstaerke-normalisierung-loudness-war-2771603.html>, „Report Lautstärke-Normalisierung statt Loudness War“, 2015-04-04

24 <http://www.audio.de/ratgeber/report-lautstaerke-normalisierung-loudness-war-2771603.html>, „Report Lautstärke-Normalisierung statt Loudness War“, 2015-04-04

25 Vgl. <http://musicmachinery.com/2009/03/23/the-loudness-war/>, „The Loudness War Analyzed“, 2015-04-04

3.1.2 Die Empfehlung R128 der 'European Broadcast Union' (EBU)

Die Empfehlung (engl.: „recommendation“; daher das R) R128 gibt an, dass die empfundene Hör-Lautstärke für alle Programm-Elemente gleich laut sein soll; Oder wie es Friedemann Tischmeyer auf 'delamar.de' beschreibt, soll die R128 *„den aus Hörsicht lästigen Pegelsprüngen [...], vor allem bei Werbung und Trailern, endlich ein Ende bereiten“*²⁶. Die an der Ausarbeitung der R128 beteiligten Ingenieure wollten mit der Empfehlung einen Paradigmenwechsel bewirken, der zu einer Audio-Pegelung führt, die auf einer „Lautheitsmessung“ beruht.²⁷ Ein neues Messverfahren mit der Lautstärke-Bewertung nach der „K-Gewichtungskurve“²⁸ und eine neue Einheit wird mitgegeben: *„die Maße LU (Loudness Unit) und LUFS (Loudness Unit, bezogen auf Full Scale)“*²⁹, die die gewohnte, logarithmische dB-Skalierung verwendet.

Diese Empfehlung R128 hat sich auf der darin erwähnten Grundlage der Erkenntnis gebildet, dass wegen der Peak-Normalisierung (wie sie in 'Abbildung 3: Normalisierung auf Spitzen, Quellennachweis 20' veranschaulicht wird) erhebliche Lautheitsunterschiede zwischen Programmen und Kanälen feststellbar sei. Diese „Lautheitsunstimmigkeiten“ seien der Grund der meisten Beschwerden der Zuschauer bzw. Hörer.³⁰ Damit haben die Zuschauer und -hörer sich über den Loudness-War beschwert. Die eingesetzte Projektgruppe der EBU für Loudness, die 'PLOUD', die laut dessen Chairman Florian Camerer *„aus aller Herren Länder Vertreter“*³¹ hat, arbeitete hart an der Empfehlung R128.³² Sie wollten durch dieses Dokument einen Paradigmenwechsel herbei führen, was ihnen auch für das Fernsehen gelungen ist.

26 <http://www.delamar.de/mastering/r128-14870/>, „R128 – Die leise Revolution der Pegelmessung“, 2015-04-03

27 Vgl. https://tech.ebu.ch/docs/r/r128_2011_DE.pdf, „EBU – Empfehlung R 128 Lautheitsaussteuerung, Normalisierung und zulässiger Maximalpegel von Audiosignalen“, 2015-04-03

28 Vgl. <http://www.delamar.de/mastering/r128-14870/4/>, „R128 – Die leise Revolution der Pegelmessung“, 2015-04-03

29 https://tech.ebu.ch/docs/r/r128_2011_DE.pdf, „EBU – Empfehlung R 128 Lautheitsaussteuerung, Normalisierung und zulässiger Maximalpegel von Audiosignalen“ 2015-04-03

30 Vgl. https://tech.ebu.ch/docs/r/r128_2011_DE.pdf, „EBU – Empfehlung R 128 Lautheitsaussteuerung, Normalisierung und zulässiger Maximalpegel von Audiosignalen“, 2015-04-03

31 Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD',

32 Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD',

Die Grafik von Florian Camerer soll veranschaulichen, was die R128 bewirkt. Von der 'Peak Normalisation' des 'Loudness War' wird zur 'Loudness Normalisation' übergegangen, die die Loudness/ "Lautheit" gleichmäßig verteilt und einhält.



Abbildung 5: Normalisierung nach Loudness, Quellennachweis 33

Die Empfehlung R128 wurde bereits weitläufig umgesetzt.

Es halten sich verbindlich daran:

- die öffentlich-rechtlichen und private Fernseh-Sender in Deutschland. (Der Umstieg, die R128 verbindlich einzuführen, passierte mit „*dem Start der Internationalen Funk-Ausstellung IFA am 31. August 2012*“)³⁴
- die öffentlich-rechtlichen und private Fernseh-Sender in Österreich (Sie würden „*ab 1.9.2012 flächendeckend nach der neuen Lautheitsnormen [sic] senden*“³⁵, schreibt im Web-Forum 'tonthemen.de' „Tonzauber“, der dort auch „Site Admin“ ist. Hr. Camerer teilte mit, es handle sich um den freier Tonmeister Georg Burdiczek.)
- die öffentlich-rechtlichen Fernseh-Sender in der Schweiz (seit Ende Februar 2012). Das Privatfernsehen hat dort noch nicht nachgezogen,³⁶ wie aus einem

33 Bild übernommen von Florian Camerer, mit freundlicher Genehmigung vom 2015-04-13

34 Vgl. http://www.ard.de/home/intern/presse/pressearchiv/Oeffentlich_rechtliche_und_private_Fernsehsender_gleichen_ihre_Programmlautstaerke_an/252588/index.html , „ARD Pressemeldung Öffentlich-rechtliche und private Fern-sehsender gleichen ihre Programmlautstärke an“, 2015-04-04

35 <http://www.tonthemen.de/viewtopic.php?f=5&t=1992> , „Lautheitsnorm ITU R128 ab 1.9.2012 verbindlich“, 2015-04-04

36 Vgl. <https://www.broadcast.ch/xportal/tools/getPortalDoc.aspx?docID=573> , „Der gute Ton beim Fernsehen“, 2015-04-04

am 23.4.2014 zuletzt geänderten Online-Dokument hervorgeht.³⁷ Hr. Camerer konnte das in seinem Mail bestätigen

Vorreiter waren aber die Niederlande, die eine Lautheitsnormalisierung in der Werbung ab September 2010 einführen³⁸.

Der Vollständigkeit halber sei hinzu gefügt, dass die 'European Broadcast Union' den einzelnen Nationalstaaten keine verbindlichen Lautheitsvorschriften oder -normen aufzwingen kann. In Frankreich wurde die R128 als nationales Gesetz erlassen, schreibt Herr Camerer, der Chairman von der Arbeitsgruppe „P/LOUD“ der EBU in einem Mail vom 13. April 2015 (siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'). In den deutschsprachigen Ländern basiere die Umsetzung der Empfehlung R128 auf Freiwilligkeit, so Herr Camerer weiter. Dass die Umstellung in Österreich und Deutschland für private und öffentlich-rechtliche Fernsehanstalten an einem Tag gelang, erachtet er „als Wunder“.³⁹

Erfahrungen mit der Einführung von R128

Die Fachexperten Florian Camerer und Niklaus Kühne, aus dem Bereich Fachkommunikation der öffentlich-rechtlichen Fernsehsender der Schweiz, stellen fest, dass sich der Umstieg bewährt hat. Beschwerden über Lautheitssprünge seien „eklatant zurückgegangen“. Die Werbung kann sich sicher sein, dass auch die Konkurrenz nicht lauter sendet, und die Werbung passt sich (bis auf 10% Ausnahmen, die aber „behandelt werden) in das Fernseh-Programm ein.^{40 41} *„Dynamische Mischungen überleben viel besser als früher, Dynamik wird belohnt, Totkomprimieren bestraft.“⁴²*

37 Vgl. <https://www.broadcast.ch/SiteSearch.aspx?q=r128> , 2015-04-04

38 Vgl. <https://www.broadcast.ch/SiteSearch.aspx?q=r128> , 2015-04-04

39 Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD',

40 Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

41 Vgl. https://www.rtr.at/de/komp/Vortraege24052012/Vortrag_Kuehne.pdf , 2013-12-01
„Loudness-Harmonisierung bei der SRG SSR“ Präsentationsunterlagen von Niklaus Kühne, Fachkommunikation SRG

42 Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

Der Chairman der 'PLOUD' ist davon überzeugt das beim Fernsehen die „kritische Masse“ erreicht ist, es sei *„nur mehr eine Frage, wann ein Sender umsteigt, nicht, ob.“*⁴³ Auch für das Radio gibt es Bemühungen, eine Lautheitsnormierung einzuführen.

Lautheitsnormalisierung im Radio

Die PLOUD arbeitet auch hieran, wie Herr Camerer bekannt gibt. In Deutschland werden viele der öffentlich-rechtlichen Radioanstalten in der Produktion auf R128, -23 LUFS als Durchschnittspegel, umsteigen. Die Ausstrahlung erfolgt dann mit einem Offset. Für das öffentlich-rechtlichen Radio in Österreich, den ORF, gibt Hr. Camerer den Wert mit -18 LUFS an. Ihm ist wichtig, dass ideologisch umgestiegen wird– von Mischungen, die mit den Spitzen beim Maximum liegen und wegen ihrer Lautheit wenig Dynamik aufweisen, hin zur dynamischen Mischung mit genau eingehaltenem Durchschnittswert. Das würde die Qualität verbessern, wie der NDR gezeigt hat, so Hr. Camerer. In einem Feldversuch hatte der NDR das Radioarchiv normalisiert.⁴⁴ Dann konnte die Signalaufbereitung (der verwendete 'Optimod') *„viel milder eingestellt werden, was den Sound verbessert hat, ohne dass NDR Radio an grundlegender Lautstärke verloren hat.“*⁴⁵ Er ist überzeugt, dass der Umstieg auf Lautheitsnormalisierung auch im Radio kommen wird. Wegen analoger und digitaler Verbreitung würde es aber schwieriger.⁴⁶

In Norwegen wird seit Februar 2012 bis 2017 (dann soll UKW dort abgeschaltet werden) für Digital- und Analog-Radio -15 LUFS verwendet. Beim Umschalten zwischen Sendern oder Plattformen sollen die Sender gleich laut sein.⁴⁷ Hr. Camerer spricht abschließend zur Frage der Lautheitsnormalisierung die heutigen Standards an, sich beziehend auf die vorgeschriebene Modulationsleistung:

*„-15LUFS wird es in D und Ö nie geben, da wir eine ITU-Empfehlung umsetzen, die die Gesamtleistung des Multiplexsignals begrenzt (MPX-Leistungsbegrenzung); dies führt zu einer Lautstärke von max. -17 LUFS (circa).“*⁴⁸

43 Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

44 Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

45 Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

46 Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

47 Vgl. <http://www.sengpielaudio.com/Scheurer-EBULautheitRadio.pdf> ; „Norwegen einigt sich auf Lautheitsregel“, 2015-04-19

Allerdings kann die MPX-Leistung nicht direkt umgerechnet werden, da der Einheit LUFS die frequenzabhängige K-Gewichtung zu Grunde liegt,⁴⁹ die der Schalldruck-Leistung der menschlichen Gehörwahrnehmung angenähert ist.

3.1.3 Auswirkungen von Loudness auf UKW-Radio-Sender

Radiosender haben das Bedürfnis, sich gegen ihre Konkurrenten durch wahrgenommene Lautheit (engl.: loudness) abzugrenzen, „*denn laute Sender werden vom Publikum bevorzugt*“⁵⁰, schreibt Dipl. Medien-Ing. Stefan Scheurer.

Besonders Werbung ist durch den Wunsch nach Lautheit ausgezeichnet - um heraus zu stechen, aufzufallen und die Werbebotschaft gut hörbar zu machen. Die Werbung soll in den Köpfen der Hörer bleiben. So wird beispielsweise auf der Webseite radiowerbung.ch die „*Penetration (Anzahl der Ausstrahlungen Tag/Woche/Jahr/Zyklität)*“⁵¹ angeführt. Durch häufiges Abspielen, Lautstärke, volle Originalität, aber auch durch den „Streuplan“ soll der Werbespot auffallen und „penetrieren“.⁵²

Im Vergleich und Wettbewerb wollen Radiostationen lauter sein. Um den durchschnittlichen Lautstärkepegel zu erhöhen, wird auf die richtige Wiedergabe von Impulsen (mit unbeschnittenen Transienten) verzichtet.⁵³ Der zitierte Fachartikel verweist auf die Geräteserie 'Optimod FM' (des Herstellers 'Orban'), die als gängige Soundprozessoren im Radio eingesetzt werden.

3.1.4 Bestimmungen für UKW-Radios

Erlaubte Werte für Frequenzhub und Modulationsleistung

In der Richtlinie 'Frequenzhub und Multiplexleistung bei UKW-Sendern' gibt die KommAustria, die österreichische Regulierungsbehörde, eine Zusammenstellung der Grenzwerte und deren Messverfahren heraus. Die festgelegten Werte sind:

48 Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD',

49 Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-20
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD',

50 Vgl. Scheurer Stefan; 2012/1, S 30

51 <http://www.radiowerbung.ch/checkliste/checkliste.htm> ; „Checkliste Radiowerbung“; 2015-02-08

52 Vgl. <http://www.radiowerbung.ch/checkliste/checkliste.htm> ; „Checkliste Radiowerbung“; 2015-02-08

53 Vgl. <http://www.audio.de/ratgeber/report-lautstaerke-normalisierung-loudness-war-2771603.html> ; „Report Lautstärke-Normalisierung statt Loudness War“, 2015-04-04

„Der Spitzenhub darf gemäß ITU-R BS.450-2 einen Wert von ± 75 kHz nicht überschreiten. [...]“

Die maximale MPX-Leistung darf gemäß ITU-R BS.412-9, Punkt 2.5 den Wert von +0 dBr nicht überschreiten.“⁵⁴

Erläuterungen:

Der Frequenzhub oder Spitzenhub ist die bei Frequenzmodulation abweichende Momentanfrequenz gegenüber der unmodulierten Trägerfrequenz. Das Multiplex(MPX)-Signal setzt sich aus dem Stereosignal (L+R, L-R), dem Pilotton von 19kHz, dem Radio-Daten-Signal (RDS) und weiteren Zusatzsignalen zusammen. Die Modulationsleistung ist die über ein Zeitfenster gemittelte relative Leistung des MPX- und somit des Modulationssignals. (Die Referenzleistung dazu, 0 dBr, ist ein sinusförmiges Signal, das ohne Pilotton ± 19 kHz Spitzenhub erzeugt.)⁵⁵

ITU steht für 'International Telecommunication Union', das R für Recommendation, BS für „Broadcasting service (sound)“. BS.412 behandelt die Standards für die Planung von terrestrischem Radio und BS.450 gibt Auskunft über die Sendestandards.⁵⁶

Die Messdauer beträgt mindestens 20 Minuten und soll unterschiedliche Programm-Anteile (Sprache und Musik) enthalten. Der Spitzenhub wird als Peakwert von maximal 10 Sekunden ermittelt und aufgezeichnet. Die Leistung des MPX-Signals wird in einem „gleitenden Messfenster von 60 Sekunden“ ermittelt.⁵⁷

Bezüglich der MPX-Leistung gibt es Toleranzen von bis zu 3dB.⁵⁸ In Österreich ist die Toleranz nicht ausdrücklich auf der Website der Regulierungsbehörde erwähnt. Auf der Website der RTR steht als Hinweis:

„Die deutschen Hörfunkveranstalter (öffentlich-rechtliche und private) sind auch nicht in den kommerziellen Ruin gestürzt, nur weil die dortigen Behörden die Einhaltung der MPX-Leistung von 0 dBr streng und unter Strafandrohung überwachen!“⁵⁹

⁵⁴ https://www.rtr.at/de/m/Spitzenhub/2121_Internationale_Grenzwerte_Frequenzhub.pdf , „Frequenzhub und Multiplexleistung bei UKW-Sendern“, 2015-04-19

⁵⁵ Vgl. https://www.rtr.at/de/m/Spitzenhub/2121_Internationale_Grenzwerte_Frequenzhub.pdf , „Frequenzhub und Multiplexleistung bei UKW-Sendern“, 2015-04-19

⁵⁶ Vgl. <http://www.itu.int/rec/R-REC-BS/en> , „Broadcasting service (sound)“, 2015-04-20

⁵⁷ Vgl. https://www.rtr.at/de/m/Spitzenhub/2121_Internationale_Grenzwerte_Frequenzhub.pdf , „Frequenzhub und Multiplexleistung bei UKW-Sendern“, 2015-04-19

⁵⁸ Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-13
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

Eine Messung (Messverfahren nicht der internationalen Norm entsprechend/ anerkannt) des öffentlich-rechtlichen österreichischen Senders Ö3 ergab eine durchschnittliche MPX-Leistung von 2,11 dBr über eine Stunde. (Details siehe Anlage: 'Messung des Frequenzhubs und der MPX-Leistung in Dornbirn-Stüben remote eingeloggt') Das lässt das Bestehen und die Ausschöpfung der Toleranz von +3 dBr nahe liegen.

Die per Mail angeschriebenen Behörden wollten keine Werte bestätigen. Das „RTR-Team“ schreibt, wenn sich ein Betreiber nicht an die bewilligten Parameter (das sind die vorhin zitierten) halten würde, dann wäre die Fernmeldebehörde und nicht die Regulierungsbehörde zuständig, entsprechende Maßnahmen zu setzen. Soweit ihnen bekannt wäre, toleriere die Fernmeldebehörde derzeit Überschreitungen der MPX-Leistung um bis zu 3dB, da die meisten der österreichischen Nachbarn ebenfalls eine solche Toleranzgrenze anwenden würden.⁶⁰ Dr. Reinhard Crepaz von der Fernmeldebehörde gibt Auskunft dass *„auf die Einhaltung von allgemeinen technischen Parametern und den in den entsprechenden Bewilligungsbescheiden festgelegten Werten überprüft“*⁶¹ wird. Auf genaue Grenzwerte geht er nicht ein. In dem Bewilligungsansuchen beizulegendem technischen Anlagenblatt mit genauen Werten zum Sender werden die „ITU-R BS.412-9 Abschnitt: 2.5“ und die „ITU-R BS.450-2“ als „Technische Bedingungen“ angegeben.⁶²

In der Schweiz sind es +3dBr für die MPX-Leistung (maximale Toleranz vom internationalen Grenzwert gleich eingerechnet), laut deren bezüglicher Richtlinie vom BAKOM ('Bundesamt für Kommunikation').⁶³ Das hat Herr Vonlanthen, Leiter der Frequenzzuteilung des BAKOMs bestätigt.⁶⁴ (Siehe Anlage 'Mailverkehr mit BAKOM; zulässige Modulationsleistung in der Schweiz')

59 <https://www.rtr.at/de/m/ErlaeutModulations> , „Erläuterung über den Einfluss der Modulationsaufbereitung auf die Frequenzplanung“, 2015-04-22

60 Vgl. (gezeichnet mit) „RTR-Team“, Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH Österreich, Antwort-Mail vom 2015-04-27 auf Anfrage

61 Dr. Reinhard Crepaz, Fernmeldebüro für Tirol und Vorarlberg, Österreich, Leitung, Antwort-Mail vom 2015-04-28 auf Anfrage

62 Vgl. UKW_Anlageblatt 101,1 Aendg 08-2013, technische Unterlagen für das Ansuchen für die Frequenz 101,1 in Dornbirn, 2013-08-22

63 http://www.bakom.admin.ch/themen/radio_tv/01214/02248/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t.lnp6lONTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCDd4J_g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-- , „30. April 2002 (Stand am 6. Dezember 2007) Frequenzhub und Multiplexleistung von UKW-Sendern“, 2015-04-22

64 Vgl. Konrad Vonlanthen, Leiter Frequenzzuteilung, Bundesamt für Kommunikation, BAKOM, im Mail von 2015-04-23 siehe Anhang 'Mailverkehr mit BAKOM; zulässige Modulationsleistung in der Schweiz'

Seit ca. 2010, schreibt Stefan Scheurer, würden in Deutschland Übertretungen der MPX-Leistung über 0 dBr härter geahndet. Davor hätte man das Strafgeld „aus der Portokasse“ bezahlen können.⁶⁵

Hr. Camerer hätte gerne, dass eine andere Empfehlung der ITU heran gezogen wird für die Radio-Ausstrahlung; weg von der MPX-Leistung (mit den unterschiedlichen Toleranzen in den einzelnen Staaten; D: 0 dBr, A: +3dBr, CH: +3dBr) und hin zur BS.1770, die eine K-bewertete Messung vorsieht.⁶⁶

„Es wird echt Zeit, dass wir [von der EBU Loudness-Projektgruppe] das im Radio auch nachhaltig lösen. Das wird allerdings noch Jahre dauern, bis dann alle auf digitale Übertragung umgestiegen sind...“⁶⁷

Der-Fachexperte Stefan Scheurer gab 2012 kontrovers zu bedenken, dass das Sound-processing auch jetzt schon „nicht immer optimal“ eingestellt sei und fragt provokativ, ob die Lösung denn nicht wieder einfach ein neues Lautheitsgerät wäre.⁶⁸ Damit verweist er auf teure Hardware, die angeschafft werden „müsste“, um die Verordnung einzuhalten. Um damit ein Maximum heraus zu holen, braucht es aber auch Fachkompetenzen für die Konfiguration dieser Geräte.

3.1.5 Radio-spezifische Abwägungen

Radio hat den Anspruch, Inhalte verständlich beim Hörer ankommen zu lassen. Als zweithäufigsten Grund für den Senderwechsel gibt Hr. Scheurer an, dass der Inhalt nicht deutlich rezipierbar ist. (Der häufigste Grund wäre der Inhalt selbst.)⁶⁹ Der Hörer befindet sich zunehmend häufiger in einem Ambiente mit Umgebungsgeräuschen, das die Verständlichkeit und eine befriedigende Wiedergabe erschwert (Autoradio, Mobil-empfang).⁷⁰ Der Radiomarkt ist abhängig von der Hörerakzeptanz und der Kunde sollte

⁶⁵ Vgl. Scheurer Stefan; 2012/1, S 29

⁶⁶ Vgl. Florian Camerer, im Mail von 2015-04-20
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

⁶⁷ Florian Camerer, im Mail von 2015-04-20
siehe Anhang 'Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD'

⁶⁸ Vgl. Scheurer Stefan; 2012/1, S 30

⁶⁹ Vgl. Scheurer Stefan; 2012/1, S 30

⁷⁰ Vgl. <https://www.rtr.at/de/m/ErlaeutModulations> , „Erläuterung über den Einfluss der Modulationsaufbereitung auf die Frequenzplanung“, 2015-04-22

in seiner Hörsituation ernst genommen werden. Auch mit seinem chinesischen 9-Euro-Radio in der Küche will er Radio hören und den O-Ton in den Nachrichten verstehen.⁷¹

Reichweite/ Signalrauschabstand

Die Reichweite eines Senders ist abhängig vom Signalrauschabstand. (Im Sendegebiet von Proton, Vorarlberg, kommen auch die Berge als natürliche Begrenzung hinzu.) Durch ein stärkeres Signal wird die Reichweite vergrößert, in dem der Abstand zum Grundrauschen steigt.

Wenn in Österreich die Toleranz der 3dBr ausgenützt werden, steigt auch der Signalrausch gegenüber einer Ausrichtung an 0dBr. Im Fall von Ö3 sind das bei der Messung vom 18.4. 2,11 dB.⁷² +3dB entsprechen einer Verdoppelung der (MPX-)Leistung!

3.2 Einsatz von Hard- und Software zur Audio-Signalaufbereitung

Um das Radiosignal im 'Loudness War' konkurrenzfähig zu halten, wird üblicherweise eine Audio-Signalaufbereitung verwendet.

3.2.1 Geräte konzipiert für die Signalaufbereitung von Radiostationen

In der Radio-Fachsprache hat den Begriff 'Optimod' das Funktions- und Verkaufsfeature „deutlich lauterer Sound“⁷³ geprägt. An den für UKW/ FM konzipierten Geräten sind Parameter wie die Audio-Kompression einstellbar, aber auch die MPX-Leistung wird nachgeregelt.⁷⁴ Die gesetzlichen Richtlinien werden mit den richtigen Einstellungen eingehalten, aber „Optimod-Profis“ können trotzdem Konkurrenzfähigkeit herstel-

71 Vgl. Scheurer Stefan; 2012/1, S 30

72 Vgl. Messung mit Deva UKW-Monitor-Software vom 2015-04-18 am Sender Dornbirn-Stüben, siehe Anlage 'Messung des Frequenzhubs und der MPX-Leistung in Dornbirn-Stüben remote eingeloggt'

73 http://www.audioexport.de/live/orban_792_DEU_AE.html ; „Orban Optimod-FM 8400“, 2015-04-17

74 Vgl. http://www.orban-europe.de/support/training/brochures/om5500-brochure_r12.pdf ; „OPTIMOD-FM 5500“, 2015-04-17

len.⁷⁵ Ähnliche Produkte wie den Optimod gibt es von Omnia, BW Broadcast, IDT und andere.

3.2.2 Gerätekosten

Orban Optimod-FM 5500:

Im August 2010 hatte Proton eine Angebot eingeholt für den Optimod-FM 5500. Die Kosten dafür wären auf 3'390 € netto gekommen. Aus Budgetgründen wurde dieses Gerät nie angeschafft.

IDT Encoder plus:

Der 'Encoder plus' der französischen Firma IDT bietet ebenfalls einen Soundprozessor, speziell zugeschnitten für Radiostationen. Deren Prozessor war der Erste, der die MPX-Leistung richtig berücksichtigt hat, schreibt der IDT-Support. Die Kosten dafür würden sich auf 2'500 € exklusive Mehrwertsteuer (MwSt.) belaufen.⁷⁶ Im Internet wird er um 1'990 \$ angeboten.⁷⁷ Proton konnte ihn im Frühling 2014 um 1'250 € exklusive MwSt. erwerben (ohne Einstellarbeiten/Inbetriebnahme). Der überzeugende Grund für die Anschaffung war das Verkäufer-Versprechen, zukünftige Strafen wegen Frequenzhub-Übertretung könnten damit vermieden werden.

3.2.3 Proton-spezifischer Einsatz von Software zur Audio-Signalaufbereitung

In diesem Kapitel werden Module aufgelistet, die bei Proton für die Signal-Aufbereitung zum Einsatz kamen oder aktuell im Einsatz sind.

Audio-Server, Basis	'jackd'
'Plugin-Handler'	zuerst 'Jackrack', dann 'ecasound'
AGC (Automatic Gain Control)	Zuerst kein Modul, dann das VST-Plugin 'Broadcast' von Jeroen Breebaart über 'Wine' und aktuell 'vlevel' von Tom Felker als LADSPA-Plugin.

⁷⁵ Vgl. Scheurer Stefan; 2012/1, S 29

⁷⁶ Vgl. Sébastien Widmer, Mitarbeiter von IDT, im Mail von 2015-04-23 siehe Anhang 'Mailverkehr mit IDT; Produkt-Zusatzinformationen FM MPX Limiter'

⁷⁷ Vgl. <http://www.radioworld.com/article/idt-processes-everything/5945#sthash.X7HvTTjY.dpuf> ; „IDT Processes Everything“, 2015-04-27

Equalizer	'Jamin'
Multiband-Kompressor	'Jamin'
Limiter	'Jamin'
Kompressor, um sich dem erlaubten Frequenzhub anzunähern	'SC4' von Steve Harris als LADSPA-Plugin; „A stereo compressor with variable envelope follower for RMS / peak behaviour. Based on the code for SC1.“ ⁷⁸

Die einzelnen Module werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert. Die Basis, der Audio-Server 'jackd', wird gleich im Anschluss erklärt. Dieser bildet die Grundlage für das Routing am Linux-Rechner und wird von gängigen Linux-DAWs verwendet.

Verwendung des Linux-Audio-Server 'jackd'

Für eine bestimmte Abfolge der unterschiedlichen Effekte ist eine fixierte Verkabelung notwendig; das Routing. Es definiert klar den Signalfluss.

Bei Proton kommt die Software (SW) des Sound-Servers Jack für das Routing zum Einsatz. Auf der Website von 'ubuntuusers.de' heißt es:

„Es kann eine Anzahl von Programmen sowohl mit Audiogeräten als auch untereinander verbinden. Z.B. kann ein erstes Abspielprogramm mit einem Streamserver verbunden, gleichzeitig ein Mikrofon mit Audacity verbunden und auch noch ein zweites Abspielprogramm mit dem Lautsprecher zum Anhören verbunden werden.“⁷⁹

Die von 'jackd' zur Verfügung gestellten Routing-Eigenschaften sind für den Audiosignal-Aufbereitungs- und Streaming-Computer essenziell. Der Jack-Dämon läuft sehr zuverlässig und zeichnet sich durch seine Stabilität aus. In Linux werden Prozesse Dämon (engl.: daemon) genannt, die im Hintergrund laufen und keiner Interaktion durch den Benutzer bedürfen.⁸⁰

Um das Routing dann auch graphisch darzustellen, kann das GUI ('Graphical User Interface') 'QjackCtl' verwendet werden. Für die Funktion von 'jackd' ist das allerdings

⁷⁸ http://plugin.org.uk/ladspa-swh/docs/ladspa-swh.html#tth_sEc2.91; „Steve Harris' LADSPA Plugin Docs“; 2015-03-26

⁷⁹ <http://wiki.ubuntuusers.de/JACK> , 2014-06-14

⁸⁰ Vgl. http://openbook.galileocomputing.de/linux_unix_programmierung/Kap07-011.htm , 2014-06-14

nicht nötig. 'QjackCtl' ist nur ein Aufsatz, um 'jackd' kontrollieren zu können. Das Routing kann damit von Hand eingetragen und abgeändert werden.

Auf dem Bild unten ist die virtuelle Audio-Verkabelung des 'jackd's zu sehen. Links sind die Sound-Quellen, dazu zählen auch der Soundkarten-Eingänge, die durch die Vorverstärker gelaufen sind und als Audio-Quelle unter 'system/' 'capture_1' und 'capture_2' zum Patching zur Verfügung stehen. Rechts sind die weiterführenden Verbindungen. Dazu zählt der Stereo Line-Out (playback_1 und 2) sowie auch der Audio-Feed für den Source-Client des Streamings.

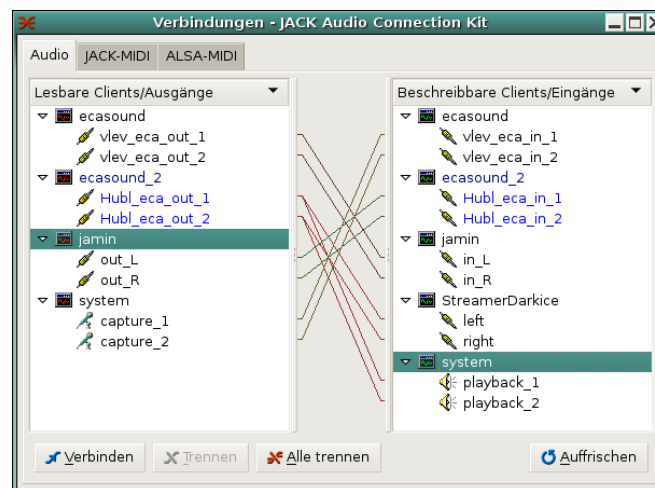


Abbildung 6: QjackCtl-Verbindungsfenster; Anzeige des Patching im Audio-Server 'jackd'; Routing Veranschaulichung

Die Latenz ist bei dieser Anwendung von 'jackd' nicht entscheidend. Einzelne Komponenten haben eine sehr lange Durchlaufzeit im Vergleich zum Audio-Server. Das Signal wird nicht zurück geführt, wie im Kapitel '2.5 Laufzeiten des Audiosignals vom Studio zum Sender, Kontroll-Hören' beschrieben ist.

Im Anhang ist der verwendete Aufruf des Audio-Servers 'jackd' bei Proton angeführt und erklärt. (Anlage: 'Jack-Dämon jackd; Aufruf und Erklärung einiger Parameter')

Automatisierung von 'jackd'

Obwohl 'jackd' oft verwendet wird für DAW-Anwendungen, wird meistens „von Hand“ verkabelt. Im Fall des Streaming-Rechners soll beim Hochfahren alles automatisch gestartet werden und auch entsprechend „verdrahtet“.

Das Programm 'jack_snapshot' bietet eine „store“- und „restore“-Funktion für den Audio-Server 'jackd'. Wenn alle Programme hoch gestartet sind, die sich verbinden sol-

len, wird 'jack_snapshot' ausgeführt mit der Funktion 'restore' und der passenden Voreinstellung (Preset).

3.3 Automatische Lautstärken-Anpassung (AGC)

Die Lautheit von Musik vor dem 'Loudness War' und jetzigen Produktionen, als auch die von Sprachbeiträgen, unterscheidet sich stark. Ziel einer Lautstärken-Anpassung ist es, die unterschiedlichen Effektivwert-Pegel aneinander anzugleichen. Der Zuhörer soll ähnlich empfundene Lautstärken geliefert bekommen, damit er nicht ständig nachregeln muss.

Einige Audio-Player machen eine Lautstärken-Anpassung. Der Benutzer soll damit gleich laut empfundene Lieder anhören können. **'replay gain'** ist ein solches Verfahren. Es analysiert jeden Track einmalig auf seine Lautstärke und speichert die Differenz zur Referenz-Lautstärke in den Metadaten der Mp3-Datei (im ID3-tag) ab. Beim Abspielen mit dem Player 'foobar2000' und der Einstellung „processing: apply gain“ wird die Lautstärke angepasst.⁸¹ 'Apple iTunes' macht dasselbe, hat aber einen proprietären Weg gewählt mit ihrem Programm-Baustein **„Sound Check“**.⁸² Auch in der Fernseh-Broadcast-Technik wird das Verfahren der Analyse der einzelnen Computer-Dateien gewählt, um die Lautstärke anzupassen.⁸³

Das unterscheidet sich aber von dem Funktionswunsch beim Live-Radio. Hier soll in Echtzeit eingegriffen werden!

Live-Betrieb Spezifisches:

Es ist unklar, wie laut das Ende des gerade abgespielten Tracks sein wird und ob er zu Ende gespielt wird. Die Lautstärken-Anpassung muss live erfolgen. Vorgefertigte Programm-Blöcke können auf ihre Spitzen- und Durchschnittslautstärke untersucht werden – nicht aber das Live-Audiosignal. Bei dem muss das laufend geschehen.

Die automatische Lautstärken-Anpassung für den Live-Betrieb ist keine gebräuchliche Anwendung, da die meisten Anpassungen auf der Basis einer Datei-Analyse beruhen.

81 Vgl. <http://www.audiohq.de/viewtopic.php?id=23> , 2014-06-14

82 Vgl. <http://www.beatunes.com/itunes-replay-gain.html> , 2014-06-14

83 Vgl. <http://www.20min.ch/digital/news/story/TV-Sender-werden-alle-gleich-laut-16289454> , „TV-Sender werden alle gleich laut“ 2015-03-29

Die Live-/ Echtzeit-Anpassung ist demnach kein Consumer-Modul, das bei einer typischen Linux-DAW zum Einsatz kommt.

Spezifisches zur Proton-Lösung:

Beim Abspielen der unterschiedlichen Audiodateien treten stark variierenden Lautstärken auf. Sendungsübernahmen aus anderen freien Radios, die ca. 10% des Programms von Proton ausmachen, sind mitunter schlecht ausgepegelt. Aber auch einige Sendungsmachende von Proton sind bei der Vorproduktion mit der Anwendung eines Kompressors überfordert. Daraus ergibt sich, dass das Originalmaterial hohe Schwankungen im Pegel hat. 20 bis 30dB Unterschied zwischen Sprachbeitrag und laut gemischtem Musikstück sind keine Seltenheit.

Es war schwer, ein AGC-Plugin zu finden, das diese Pegel-Unterschiede ausgleicht. Das **VST-Plugin 'Broadcast'**, `jb_broadcast.dll` von Jeroen Breebaart, war der erste Schritt dazu. Seit Juli 2012 ist ein neuer, leistungsstarker Computer bei Proton im Einsatz, der für die Signal-Aufbereitung und als Streaming-Server genutzt wird. Linux unterstützt VST nicht nativ. Es funktionierte mit Wine v1.4. (*„Wine (Wine Is Not an Emulator) ist ein Programm, mit dem man Windows-Software unter Linux laufen lassen kann.“*⁸⁴)

Ab September 2013 wird das Linux-native **LADSPA-Plugin 'VLevel'** in der Konfiguration verwendet. Die AGC-Software verwendet einen einstellbaren Puffer (verwendet: 5 Sekunden), um die Lautstärke-Werte im Puffer zu analysieren und entsprechend anzupassen. Das Ergebnis ist erst zeitverzögert um die Puffer-Länge zu hören. Außerdem kann der Multiplikator der maximalen Verstärkung eingestellt werden (verwendet: 15) und die Eingreif-Stärke (verwendet: 75%) ⁸⁵.

Die Verwendung eines AGC führt zu deutlich hörbar, besseren Resultaten. Sie ist ein wichtiger Block in der Echtzeit-Signalverarbeitung und kommt auch bei den professionellen Hardware-Geräten zum Einsatz. Sie gleicht Pegel-Fehler im (Selbstfahrer-)Studio aus und gleicht starke Audio-Material-Unterschiede aneinander an.

⁸⁴ <http://wiki.ubuntuusers.de/Wine> , 2014-06-14

⁸⁵ Vgl. Aufruf und Hilfe-Text VLevel, abgerufen am 2015-04-28, siehe Anhang 'Kommando-Zeilen-Aufrufe der LADSPA-Plugins mit Parameter-Ausführungen'

3.4 Sound-Effekte (SFX) zur akustischen Aufbereitung

Wie beim Mastering üblich, werden auch bei der Echtzeit-Verarbeitung in der Signalkette beim Radio Effekte für die akustische Aufbereitung angewandt.

- Equalizer (EQ)
- Multiband-Kompressor

Ein Multiband-Kompressor teilt das Audiosignal in 3 bis 5 unterschiedliche Frequenzbereiche/ -bänder auf, die parallel in einem eigenen, einstellbaren Kompressor bearbeitet werden. Danach wird das Signal wieder zusammen gesetzt.⁸⁶

- Limiter

Proton verwendet für diese 3 Schritte das Linux-Programm 'Jamin'. Es beinhaltet einen 3-Band-Kompressor und einen 30-Band-Equalizer, sowie einen „Fast-look-ahead-limiter“.

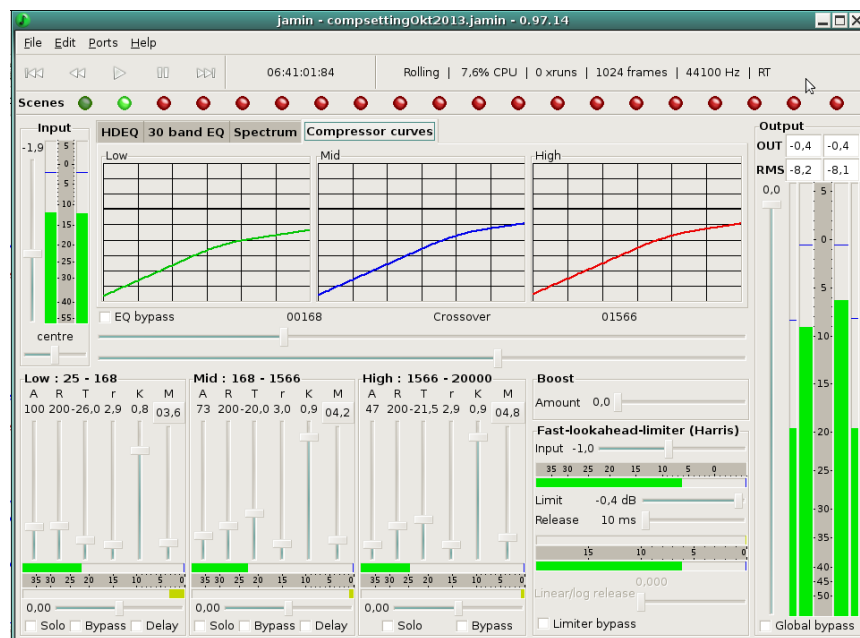


Abbildung 7: Multiband-Kompressor-Anzeige der Linux Soundprocessing-Software Jamin

86 Vgl. Dickreiter Michael [et al]; 2008, S 334

Korrigierende Maßnahmen für ein optimales Sendersignal

Zusätzlich wird in der Signalkette beim Radio das Audio-Signal-Processing dafür genutzt, korrigierende Maßnahmen für die UKW-Ausstrahlung durchzuführen; damit das Ausstrahlungssignal optimiert über den Sender geht.

Proton-Lösung:

- Abstimmung auf den zulässigen Frequenzhub mittels eines Effektivwert-Kompressors

Die ausgestrahlten Senderwerte konnten durch einen RMS-/ Effektivwert-Kompressor den gesetzlichen Bestimmungen angepasst werden, so dass keine Übertretungen mehr statt fanden. Die Einstellung erfolgte empirisch im August 2012 durch die Messung des Frequenzhubs mit dem 'Hirschmann RME230' von Sender-Spezialist Werner Morscher und das manuelle Nachregeln an der Kompressor-Software.

Konfiguration: Treshold: -4.4 dB_{FS}, Ratio: 1:20 (max., um in Richtung Limitier zu gehen), Amplitude output: 3dB (um wieder aufzuholen von der Kompression)⁸⁷

Maßnahmen des Optimod-FM 5500:

Einige Regelkreise, die der Optimod integriert hat, bieten eine genauere Signal-Anpassung, als es ohne Rückführung (Feedback) möglich wäre. Im Blockschaltbild des Datenblatts sind angeführt:

- „Control Coupling“ von dem 5-Band-Kompressor und dem 5-Band-Limiter
- Feedback vom HF-Limiter
- Feedback vom „MPX Power Controller“
- „Clipping Distortion Controller“; Durch eine dynamische Reduktion des Einstellwerts, der sich aus der Analyse des Clipper-Ausgangs ergibt, wird ein „intelligentes“ Clipping gemacht.

Quellennachweis Aufzählung 88

⁸⁷ Vgl. Aufruf und Hilfe-Text SC4, abgerufen am 2014-03-16, siehe Anhang 'Kommando-Zeilen-Aufrufe der LADSPA-Plugins mit Parameter-Ausführungen'

⁸⁸ Vgl. http://www.orban-europe.de/support/training/brochures/om5500-brochure_r12.pdf ; „OPTIMOD-FM 5500“, 2015-04-17

3.5 Überlegungen zur Audio-Signalaufbereitung im Radio

Die Möglichkeiten der Orban Optimod-FM Soundprozessoren oder ähnlich konzipierter Geräte helfen, die gesetzlichen Richtlinien einzuhalten, aber auch auszureizen. Sie haben hörbar den Radiomarkt verändert und waren bestimmt auch ein Faktor im 'Loudness War'. Im Kampf um Reichweite und Hörerakzeptanz sind sie das Werkzeug, um einen satten, lauten Sound hin zu bekommen. Die Kosten liegen in der Preisklasse von 2'000 bis 10'000 € pro Gerät, dass dann auch vom Experten eingestellt werden muss (Schätzung nochmals 1'000-2'000 €). Um dieses Geld nicht für jeden Sender-Standort investieren zu müssen, wird auf eine einschätzbare Übertragung geachtet und die Einstellung knapp unter den Grenzwerten angesetzt, um Strafen zu entgehen.

Proton hat bewusst auf eine Low-Budget-Variante gesetzt, da dem Radio immer Geld für teure Investitionen fehlt. Das freie Radio sticht mehr durch Vielfalt und Abwechslung heraus als durch professionelle Ausstrahlung. Trotzdem kann die Umsetzung des Radios täglich tausende Menschen erreichen und hoffentlich begeistern. Das Soundprocessing gleicht schlechte Abmischungen aus und macht Proton hörbar.

Die zwei Messungen in Dornbirn zeigen den Unterschied. Als Erstes wurde Proton gemessen, dass keine speziell dafür konzipierte Hardware für diesen Sender im Einsatz hat. Die zweite Messung zeigt Ö3, eine öffentlich-rechtliche Radiostation, die auch kommerziell sehr erfolgreich ist. Die Messergebnisse lassen vermuten, dass sie teure Hardware, speziell konzipiert für FM UKW-Sender, im Einsatz haben. Auf den Bildschirmfotos in der Anlage 'Messung des Frequenzhubs und der MPX-Leistung in Dornbirn-Stüben remote eingeloggt' ist zu sehen:

- dass die Fläche unter der Kurve des Frequenzhubs bei Ö3 größer ist. Der Stereoteil L-R des MPX-Signals wird mehr genutzt. Das wird ermöglicht durch Stereo-Enhancer.⁸⁹
- dass die Kurven bei Ö3 näher an die Grenzwerte heran gehen; sowohl an die MPX-Leistung von +3dbr als auch an den Frequenzhub mit 75kHz

Quellennachweis Aufzählung 90

89 Vgl. http://www.orban-europe.de/support/training/brochures/om5500-brochure_r12.pdf ; „OPTIMOD-FM 5500“, 2015-04-17

90 Vgl. Messung mit Deva UKW-Monitor-Software vom 2015-04-18 am Sender Dornbirn-Stüben, siehe Anlage 'Messung des Frequenzhubs und der MPX-Leistung in Dornbirn-Stüben remote eingeloggt'

Innerhalb der vorgeschriebenen Möglichkeiten kann gutes Signalprocessing das Maximum heraus holen.

4 Übertragung

Als Übertragungsmedium wurde für das Projekt Sender-Zubringer für Proton das Internet gewählt. Dieses große Kapitel '**Übertragung**' geht auf die Thematik ein, wie Audio mit Hilfe des Internets übertragen wird. Im Vergleich wird auf Video-Übertragungen eingegangen.

Eine regelmäßige Aussendung wird '**Streaming**' genannt. Es drückt aus, dass die verschickten Medien-Daten durch das Netz(werk) gleichmäßig zum Empfänger „strömen“.

'Ursprünglicher Download'

In den Anfängen des Web gab es die ursprüngliche Form vom Herunterladen ganzer Dateien. Erst wenn die Datei als Ganzes vollständig beim User (alle dazugehörigen Daten-Pakete) angekommen war, konnte er sie verwenden bzw., im Fall einer Mediendatei, abspielen. Bei einem Download ist es möglich, je nach Einstellung des Browsers, einen Speicherort auszuwählen. Eine heruntergeladene Datei liegt an einem, dem Nutzer bekannten Speicherort auf der lokalen Festplatte und ist diesem jederzeit verfügbar. Sie kann irgendwann nach dem Download abgespielt werden.

Eine Möglichkeit, Medien über das Internet zur Verfügung zu stellen, ist der offizielle, „normale“, ursprüngliche Download (z.B. mit einem Download-Button auf einer Webseite). Zum „normalen [ursprünglichen] Download“ (**ohne Progressive-Funktion**) erklärt Ulrike Häßler, Lehrbeauftragte an der Fachhochschule Köln, auf ihrer Website:

„Bei einem normalen Download (z.B. bei der Anzeige von Bildern oder PDF-Dokumenten) muss eine Mediendatei vollständig geladen sein, bevor sie angezeigt oder abgespielt werden kann.“⁹¹

Heutzutage können Browser und Anzeigeprogramme allerdings mit 'Progressive Download' arbeiten, so dass bereits schon vor dem Ende des Download geladene Teile sichtbar sind.

⁹¹ <http://medien.wisotop.de/streaming-server/http-streaming-progressive-download-pseudo-streaming/> „HTTP Pseudo-Streaming“, 2015-02-23

'Progressive Download'

Bei einem 'Progressive Download' einer Medien-Datei, wird diese gleich und laufend abgespielt. Der Vorteil gegenüber dem 'ursprünglichen Download' besteht darin, dass der Nutzer schon während des Ladevorgangs sehen kann, was herunter geladen wurde.

Dass es keinen offensichtlichen Speicherort gibt, den der Nutzer irgendwann gewählt hätte, ist ein weiterer Unterschied zum 'ursprünglichen Download'. Die Daten sollen nicht lokal auffindbar sein und vom Benutzer abgespeichert werden. Die Medien-Daten werden, temporär und mindestens bis sie abgespielt werden, zwischengespeichert – im Cache gepuffert. In vielen Fällen von Streaming wird jedoch alles in eine temporäre Datei gepackt und bleibt dort vorerst, auch nach dem Abspielen. Zum Beispiel bleibt bei 'YouTube' die temporäre Video-Datei im Webbrowser-Cache, bis der Browser-Tab des Videos geschlossen wird.⁹²

4.1 Was ist eigentlich 'Streaming' und wie funktioniert es?

„Unter Streaming-Media versteht man die kontinuierliche Übertragung komprimierter Video- und Audiodateien in Form eines Datenstroms über das Internet.“⁹³ Im Ergebnis kann der Benutzer via Internet übertragene Daten-Ströme (engl.: data-streams) anhören oder anschauen. Noch während die Übertragung läuft, werden die Daten beim Empfänger wiedergegeben.

Damit unterscheidet sich Streaming vom Download auf den ersten Blick – auf den Ersten. Auch beim Streaming werden Daten herunter geladen.

⁹² Stand 2015-04-29; getestet auf <https://www.youtube.com/watch?v=Cx-OK-PLk7w>, eingeloggt mit dem Google-Account, „Autoplay“ abgeschaltet, Video ganz laden gelassen und dann nochmals abspielen lassen mit dem Replay-Button; Netzwerkanzeige beobachtet. Beim 2. Mal wurden keine Daten erneut geladen.

⁹³ <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Streaming-Media-streaming-media.html> „Streaming Media“, 2015-01-07

4.1.1 Streaming und 'Progressive Download' anstatt 'Ursprünglichen Download'

Medienrecht-Problematik

Wer auf seiner Homepage Audio- oder Videomaterial anbieten will, steht vor der Frage, ob es als Download oder als Stream angeboten werden soll.⁹⁴ Bei beiden Möglichkeiten, Download oder Streaming, müssen zuvor die Leistungsrechte geklärt werden, sofern man nicht der Komponist, Interpret und Schöpfer dieser Werke ist. Bei fremdem Eigentum im Sinne des Urheberrecht, muss auch eine vertraglich festgelegte Vergütung an die Verwertungsgesellschaft stattfinden.

Obwohl beide Möglichkeiten sich nicht stark unterscheiden, wird im Umgang mit diesen beiden Formen Medien-rechtlich ein deutlicher Unterschied gemacht; weil:

- Beim Download lädt der Benutzer die Medien-Datei auf seiner Festplatte und kann sie weitergeben.
- Bei Streaming sollte die Medien-Datei nach einmaligem Abspielen nicht mehr lokal verfügbar sein.

Wenn der Benutzer die Medien-Datei später ein zweites Mal anschauen oder anhören will, muss er sie nochmals vom Server abholen und als Stream beziehen.

Damit obliegt die Verwaltung der Medien-Datei nicht dem User! Die Daten müssen nur kurz zwischengespeichert werden. Die vom Client abgespielten Daten sollen nur am Server liegen und nicht behalten werden (können) – darauf legen viele Rechte-Inhaber größten Wert.

Weil das Behalten beim Streaming nicht so einfach geht wie beim Download, sind wahrscheinlich die Streaming-Rechte billiger und unkomplizierter zu erlangen. Der User bekommt bei Streaming die Audio- oder Video-Datei nicht (oder zumindest nicht ganz so leicht) in seinen Besitz. Auch die Weitergabe eines Streams als Medien-Datei ist nur mit Fachkenntnissen möglich.

⁹⁴ Vgl. <http://web.archive.org/web/20121205104647/http://aktuell.de.selfhtml.org/artikel/grafik/streaming/index.htm>
„Streaming Media via HTTP/SMIL“, 2015-01-07

Für diese Bachelorarbeit ist im weiteren Verlauf der http-Download ohne Progressive-Funktion, also ein normaler, 'ursprünglicher Download', nicht mehr relevant. Es handelt sich hierbei nicht um Streaming!

Definition: Denn **Streaming** bedeutet, gesendete Daten schon abzuspielen, bevor sie komplett empfangen wurden und lokal verfügbar sind.⁹⁵ Dieser frühzeitige Abspiel-Start zeichnet Streaming aus und unterscheidet es vom ursprünglichen Download.

Allerdings ist Streaming oft nichts anderes als ein versteckter 'Progressive Download'. Die Daten werden temporär und an einen unbekannten Ort für den normalen Verbraucher abgelegt. Beim 'Progressive Download' können diese Daten jedoch gespeichert werden, nachdem die temporäre Datei ausfindig gemacht wurde.^{96 97}

Diverse Player, allen voran der Adobe-Flash-Player, versuchen, die temporären Daten dem User möglichst unzugänglich zu machen, damit dieser sie nicht lokal abspeichern kann. Allerdings gibt es im Internet dafür auch viele Lösungsangebote, um doch die gestreamten Daten und somit die ganze Audio- oder Video-Datei herunter zu laden, abzuspeichern und abzulegen; so z.B. der DownloadHelper, ein Firefox-Browser-Plugin⁹⁸.

Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung eines Stream-Ripper, wie z.B. das gleichnamige Programm Streamripper.

Streamripper

Dieser bezieht den Stream vom Server, zeichnet ihn auf und speichert die Streaming-Daten.

Als Option kann gewählt werden, dass der Stream sogar in einzelne Dateien unterteilt wird. Die Trennung erfolgt nach den mitgelieferten ID3-tags im Stream. Im Online-Tutorial steht, manche Server würden Streamripper als einen Client nicht akzeptieren. Um solche Server zu täuschen, kann mit einem Parameter der übermittelte „user-agent“ gefälscht werden.⁹⁹

95 Vgl. <http://www.garymcgath.com/streamingprotocols.html> „Basics of streaming protocols“, 2015-03-01

96 Vgl. <http://hints.macworld.com/article.php?story=20080311022147414> „Save Flash video files from local cache“, 2015-02-23

97 Vgl. <http://askubuntu.com/questions/37267/how-can-i-access-flash-files-from-streaming-websites> „How can I access Flash files from streaming websites?“, 2015-02-24

98 Vgl. <http://www.downloadhelper.net/index.php> „Welcome to DownloadHelper“, 2015-01-07

99 Vgl. <http://streamripper.sourceforge.net/tutorialconsole.php> „Tutorial (console) Documentation“, 2015-03-02

4.1.2 Exkurs: Server-Client-Struktur

Viele Internetdienste verwenden die Server-Client-Struktur.¹⁰⁰ Der Server ist der Knotenpunkt im Verteil-Netzwerk. Hier laufen die Anfragen der Clients zusammen und werden vom Server bedient. 'to serve' heißt bedienen, servieren, versorgen, zustellen¹⁰¹ - was auch den Aufgaben eines Server entspricht.

„Bei jeder Aktion, bei der über das Internet zwischen zwei Rechnern Daten übermittelt werden, gibt es einen Host, der Dienste bereitstellt und auf Anfragen reagiert (Server), und einen Host, der Anfragen stellt und die Antworten verarbeitet (Client).“¹⁰²

4.1.3 On-Demand oder Real-Time-Anwendung (‘auf Abruf’ oder Echtzeit-Anwendung)

Streaming kann unterschieden werden in „On-Demand“ oder „Real-Time“ Anwendungen.¹⁰³

Mit **On-Demand**, auf Abruf/ auf Nachfrage, sind Übertragungen von Medien-Daten gemeint, die am Server als fertig produziertes Material bereit liegen. Der Client kann sich das On-Demand jederzeit abrufen, in dem er sich genau dieses Medienmaterial aus dem On-Demand-Angebot aussucht.

Damit der Client keine oder kaum Wartezeiten bei der Wiedergabe in Kauf nehmen muss, wird Streaming (z.B. mit der Methode 'Progressive Download') verwendet. Ein YouTube-Video kann bereits abgespielt werden, bevor es vollkommen bis zum Ende geladen ist und während der Download im Hintergrund noch weiter läuft. Bei YouTube sieht man den Fortschritt des Ladens als Balken ('Progress Bar') in hellem Grau im Navigationsbalken.

On-Demand ermöglicht eine modernen Form der Videothek. Ein Kunde wählt im Internet einen Film aus, bezahlt, und bekommt den Stream für eine gewisse Zeit bereit ge-

100 Vgl. <http://www.e-teaching.org/technik/vernetzung/architektur/client-server/> „Client-Server“, 2015-02-17

101 Vgl. <http://dict.tu-chemnitz.de/dings.cgi?lang=de&service=deen&opterrors=0&optpro=0&query=serve&iservice=&comment=&email=> „serve: Wörterbuch / Dictionary“, 2015-02-17

102 <http://www.e-teaching.org/technik/vernetzung/architektur/client-server/> „Client-Server“, 2015-02-17

103 Vgl. <http://www.garymcgath.com/streamingprotocols.html> „Basics of streaming protocols“, 2015-03-01

stellt. 'Videobuster', ein Filmverleih und On-Demand Anbieter, schreibt: „*Unsere Video-on-Demand Filme können Sie unter Windows, MacOS und per Chromecast abspielen.*“¹⁰⁴ Aus diesen Streaming-Möglichkeiten, die vor 15 Jahren noch in den Kinderschuhen steckten, entwickeln und etablieren sich heute neue Geschäftsmodelle.

Bei einer Stream-Wiedergabe On-Demand wird üblicherweise kein anderer Benutzer den gleichen Inhalt zur gleichen Zeit empfangen¹⁰⁵, wie Gary McGath auf seiner Website als Unterschied zu Real-Time-Streaming hervor hebt.

Real-Time-, Echtzeit-Streaming

Dem On-Demand (Abruf) Service steht das Real-Time-/ Echtzeit-Streaming gegenüber. In „Echtzeit“ werden Ereignisse übertragen, die gerade passieren und gleich wiedergegeben werden sollen. In diese Kategorie fallen Überwachungskameras, Sportveranstaltungen wie Fußballspiele und Live-Events, wie auch Live-Radio, das genauso wie es 'on air' geht, auch den Internet-Radio-Hörer erreichen soll. Diese Streams sollen am Ziel zeitnah ankommen, möglichst in Echtzeit. Auch wenn ein paar Sekunden Verzögerung zustande kommen, handelt es sich um Minuten-Bruchteile. Gary McGath meint „*with a slight and consistent delay*“¹⁰⁶

Dafür ist die räumliche Begrenzung durch das Internet ausgeschaltet. Mit einer guten Internet-Leitung kann der Stream weltweit live von Usern angehört bzw. angeschaut werden, sofern es keine Ländersperren, Begrenzungen oder Ähnliches gibt.

Definition: Es handelt sich um **Real-Time-Streaming**, wenn live in einem IP-Netzwerk (wie das Internet) übertragen wird.¹⁰⁷

Viele digitale Medien-Übertragungen erfolgen heute so - auch die Zubringer-Lösung von 'Proton – das freie Radio'. Die UKW-Sender werden mit Live-Streams aus dem Studio oder von der Automatisierung versorgt.

104 Vgl. <https://www.videobuster.de/dvd-bluray-verleih/154391/der-swimmingpool> , 2015-03-06

105 Vgl. <http://www.garymcgath.com/streamingprotocols.html> „Basics of streaming protocols“ , 2015-03-01

106 <http://www.garymcgath.com/streamingprotocols.html> „Basics of streaming protocols“ , 2015-03-28

107 Vgl. <http://www.garymcgath.com/streamingprotocols.html> „Basics of streaming protocols“ , 2015-03-28

Gleiche Technik für unterschiedliche Anwendungen, erklärt am Beispiel des „Radioserver“ 'Icecast'

'Icecast' macht dem Client vor, der 'Progressive Download' wäre für eine On-Demand Audio-Datei, die als Ganze herunter geladen werden soll. Es wird aber ein Real-Time-/Live-Stream geladen.

Das Prinzip des 'Progressive Download' wird (ausge)genutzt. Der Icecast Streaming-Server unterstützt die Funktion von sogenannten „Mount Points“.¹⁰⁸ „Dank derer können auch Ogg Vorbis-Streams übertragen werden.“¹⁰⁹ Der Mount-Point ist eine (Inter-net-)Pfad-Angabe mit der Endung '.ogg'. Bei Proton ist ein Mount-Point, der sich aus diesem Schema ergibt, folgende URL: <http://radioproton.at:8000/protonquality.ogg> . Wenn der Client-Player beim Icecast-Server einen Stream mit dem Format Ogg-Vorbis anfordert, geschieht das über den Pfad des Mount-Point. Dem Player des Zuhörers wird

„vorgegaukelt, dass dieser eine Ogg Vorbis-Datei öffnet. Ohne den Mount Point würde der Player versuchen, den Stream als MP3-Stream zu öffnen. Das kann natürlich bei einer Ogg-Übertragung nicht funktionieren.“¹¹⁰

Mit dem Mount-Point versucht der Client, die Ogg-Datei (temporär mittels 'Progressive Download') herunter zu laden und gleich abzuspielen.

Zusammengefasst:

- Bei der „**Real-Time**“ Live-Sendung wird die Ogg-Datei vorgetäuscht.¹¹¹ In Wirklichkeit wird ein fortlaufenden Stream verschickt, in dem Live-Daten übertragen werden.
- Bei vorgefertigtem **On-Demand**-Content läuft der 'Progressive Download' unabhängig vom Abspielen. Die Datenquelle ist eine (vorge)fertig(t)e Datei, die vom Client herunter geladen wird.

Proton verwendet den 'Icecast' Streaming-Server mit der Eigenschaft, Ogg-Streams über Mount-Points zu übertragen.

Das Prinzip des 'Progressive Download' kann also für beide Fälle eingesetzt werden, wie wir Anhand der Ogg-Mount-Points bei 'Icecast' gesehen haben. Egal, ob das Ende

108 Vgl. <http://www.mpex.net/info/icecast.html> „Icecast Radioserver einrichten“ , 2015-02-23

109 <http://www.mpex.net/info/icecast.html> „Icecast Radioserver einrichten“ , 2015-03-01

110 <http://www.mpex.net/info/icecast.html> „Icecast Radioserver einrichten“ , 2015-03-01

111 Vgl. <http://www.mpex.net/info/icecast.html> „Icecast Radioserver einrichten“ , 2015-02-23

schon am Server bereit liegt, weil es sich um vorgefertigte Inhalte (Content) handelt (On-Demand-Streaming), oder das Ende der Live-Sendung noch moderiert werden muss (Real-Time-Streaming). Für den Client ist es das Gleiche. Er behandelt diese 2 Fälle gleich. Er startet den Download der Ogg-„Datei“, lädt Stream-Daten herunter und spielt diese gleich ab.

Diese Bachelorarbeit setzt sich hauptsächlich mit Real-Time-Streaming auseinander, das die Übertragung von Live-Radio per Internet beschreibt. On-Demand-Streaming wird in der Bachelorarbeit nur grundsätzlich erklärt, um Streaming als Übertragungsmethode abzuhandeln.

Bei Sende-Übertragungen von Radio-Stationen im herkömmlichen Sinne (im Gegensatz zu Internet-Diensten wie 'last.fm' oder 'spotify') handelt es sich um Real-Time-Streaming, live. Das wird im folgenden Kapitel näher behandelt.

4.1.4 Live-Streaming für Radio

Für die Übertragungen von Radio im Internet wird häufig Real-Time-Streaming über Http genutzt. So wie bei '99drei Radio Mittweida' oder auch 'Proton – das freie Radio' wird das Programm über UKW ausgestrahlt und zusätzlich für die Internet-Hörer per Streaming übertragen. Die ankommenden Daten vom Live-Feed werden laufend abgespielt. Manche Radiosender haben sich sogar ausschließlich auf die Internet-Hörerschaft spezialisiert und senden gar nicht terrestrisch (wie z.B. 'ByteFM')¹¹². In den letzten Jahren sind größer werdende Hörerkreise auch über das Internet erreichbar. Eine Frequenz zugesprochen zu bekommen, ist mitunter, je nach Region, ausgesprochen schwierig.

Bei Proton braucht der Live-Stream für die Internet-Hörer durchschnittlich 10 Sekunden.

¹¹² Vgl. http://byte.fm/bytelfm_info „Informationen zu ByteFM“, 2015-03-11

4.2 Streaming mit seinen Komponenten

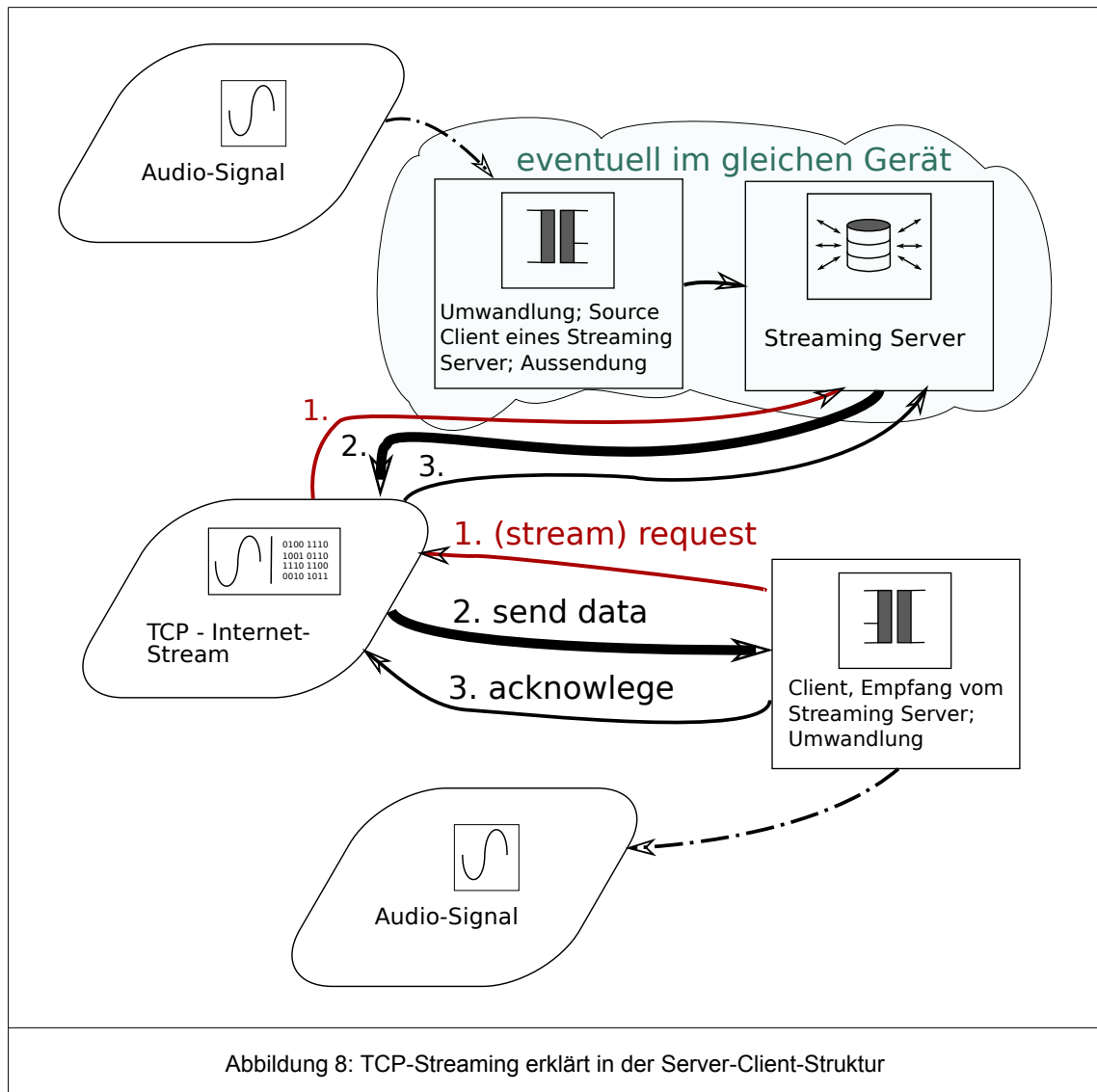
4.2.1 Übertragung von Streams, Übersicht

Streaming besteht immer aus drei Elementen/ Komponenten:

- A) **Source-Client** oder für den Live-Betrieb 'Live-Feed' genannt; die Quelle
- B) **Streaming-Server**; er ist für die Verteilung und Weitergabe des Streams zuständig
- C) **Streaming-Client**; der Stream-Abspieler

Der Source-Client (A) und der Streaming-Server (B) können auch im physisch gleichen Gerät untergebracht sein.

Die nachfolgende Grafik soll veranschaulichen, wie Streaming funktioniert, das TCP als Übertragungsprotokoll benutzt. Beispiele hierfür sind die (Http-)Streams von 'Proton – das freie Radio' und '99drei Radio Mittweida'.



Erklärungen zu Abbildung 8: Zuerst, 1., fragt der Client den TCP-Stream an (engl.: request); dann 2. schickt der Server die Daten; 3. der Client bestätigt, dass die Daten angekommen sind (engl.: acknowledge; nur in TCP).

Wenn von Audio-Streaming die Rede ist, wird meist Streaming via TCP und http gemeint. (Veranschaulichung in der Grafik oben) Allerdings ist das nicht selbstverständlich und es gibt auch die Möglichkeit, via UDP zu streamen; Genauer dazu im Kapitel '4.4.3 TCP versus UDP'. Folgend wird immer angegeben, wenn ein Unterschied zwischen TCP- und UDP-Streaming besteht. Sofern nicht anders erwähnt, gelten die Beschreibungen für beide Streaming-Arten.

A) Source-Client/ Live-Feed: hier wird das Audio (beim Radio, mitunter aber auch Video) in den Stream umgewandelt und der Streaming-Server damit gespeist. Der Source-Client bietet die Grundlage bzw. die Quelle (engl.: source) für den Server, der

dann diesen (Audio-)Stream weiter verteilen kann. Wenn ein Live-Ereignis übertragen werden soll, dann ist die Speisung (beim Radio) ein (Audio-)Eingang, der an den Master-Ausgang (des Sendestudios) angeschlossen wird. Der Begriff 'Live-Feed' bedeutet: 'gerade eben Zusprieler', Einspeisung von einem „live“-Ereignis.^{113 114}

B) Streaming-Server: Das ist der Verteil-Knotenpunkt, der Streams auf Anfrage (Pull-Modus) abgibt, sofern alle nötigen Bedingungen erfüllt sind. (Eine Bedingung könnte die maximale Anzahl der erlaubten Clients sein, die sich am Server anmelden dürfen.)

C) Streaming-Client: Nach dem typischen Server-Client-Prinzip fordert der Client beim Server Daten an, startet also eine Nachfrage ('request') und wird dann vom Server beliefert (Pull-Modus).

Der meist gebrauchte Modus im Streaming ist Pull. Der Client fordert den Stream an und „zieht“ Medien-Daten. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass der Server die Daten „stößt“ - der Push-Modus; nähere Erläuterungen dazu siehe '4.4.2 Push-Server und Pull-Clients'

4.2.2 Source-Client/ Live-Feed/ Speisung/ Encoder

Der Startpunkt der Stream-Übertragung ist die Speisung. Im Source-Client erfolgt die Umwandlung (Encoding) vom Mediensignal in einen Stream. Diese zugelieferten Daten des Source-Client werden vom Server verteilt.

Nicht zu verwechseln ist der Source-Client (in der Abbildung 8 Komponente A genannt) mit dem Streaming-Client (Abbildung 8, Komponente C). Er liefert die Einspeisung und bildet die Quelle des Streams.

Bei Real-Time-Streaming liegt „live“ ein kontinuierliches Audiosignal am Eingang an, das zum Sender übertragen werden soll. Diese Einspeisung ist die Zulieferung der Medien-Daten – der Live-Feed.

¹¹³ Vgl. <http://www.linguee.de/englisch-deutsch/uebersetzung/live+feed.html> „Übersetzungsbeispiele aus fremden Quellen für „live feed“:“, 2014-12-27

¹¹⁴ Vgl. <http://dict.tu-chemnitz.de/dings.cgi?lang=de&service=deen&opterrors=0&optpro=0&query=feed&iservice=&comment=&email=> „Suchwort: feed“, 2014-12-27

Nach der Zulieferung durch den Source-Client bzw. Live-Feed kommt der Server:

4.2.3 Streaming-Server

Auch bei Streaming wird die Server-Client-Struktur eingesetzt. Im Pull-Modus, die gängige Betriebsart, wird der Server vom Client über das Netzwerk angesprochen und beginnt dann Medien in kleinen, vielen Paketen zu verschicken. Im Push-Modus sendet der Server Daten an eine Netzwerk-Adresse. (Mehr zu Streaming-Clients und zu Push- und Pull-Modus in späteren Kapiteln.)

Eine klare Ansprechbarkeit des Streaming-Servers ist wichtig für den Client. (Außer der Server arbeitet im Push-Betrieb.) Eine fixe IP-Adresse ist dafür fast Pflicht. (Der Server kann auch über den DNS-Eintrag gefunden werden. Dienste, wie dynDNS, bieten eine dynamische Zuordnung der IP-Adresse an.¹¹⁵) Beim Client ist hinterlegt, wo nachgefragt und unter welcher Adresse der Stream abgerufen und „gezogen“ (pull) werden kann. (Beim Push-Betrieb ist die IP-Adresse des Empfängers von Bedeutung. Dorthin „drückt“ der Streaming-Server die Daten.)

Mitunter ist der Stream nur über einen Login am Server abrufbar, wie bei bezahlten oder nicht öffentlichen Angeboten üblich.

Bandbreite-Überlegungen (für Unicast-Verbindungen)

Auf ein und den selben Server können mehrere Clients gleichzeitig zugreifen. (Meist ist es möglich, in der Konfiguration des Server die maximale Anzahl der Streams zu begrenzen.) Damit kommen wir aber gleich zu einem weiteren heiklen Punkt: die Bandbreite des Server. Jeder Stream wird einzeln verschickt, sofern kein Multicast eingerichtet wurde. (Mehr Informationen zu Unicast und Multicast folgt in den nächsten Absätzen.) Wenn 3 Clients den Audio-Stream beziehen wollen, muss der Server die Daten auch in 3-facher Ausführung ins Netzwerk hochladen ('Data Upload').

Bei den http-Streams (TCP) zu den Hörern ('Listener Streams') vom Server zu den Clients, handelt es sich um Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (Unicast, „Multihop“; im genaueren Sinne um Ende-zu-Ende-Verbindungen, da Zwischenstationen zur Weiterver-

¹¹⁵ Vgl. <http://www.pctipp.ch/news/web-dienste/artikel/beliebter-dyndns-dienst-stellt-gratis-dienste-ein-71041/> „Beliebter DynDNS-Dienst stellt Gratis-Dienste ein“, 2015-02-17

mittlung genutzt werden¹¹⁶). Im Unicast-Betrieb laufen am Server diese Verbindungen sternförmig zusammen und erfordern entsprechende Kapazitäten.

Wenn es die Netzwerk-Topologie erlaubt, kann aber auch Multicast oder Broadcast gesendet werden.¹¹⁷ Dazu ist der Push-Modus von der Streaming-Server Seite her nötig und UDP, das unidirektional ist. Bei Multicast müssen sich die Stream-Empfänger in die IGMP-Gruppe einschreiben.¹¹⁸ Mit diesen Methoden muss dann nicht mehr jeder Client den Stream beim Server selbst abholen. Sondern es reicht, den Stream vom nächstgelegenen Verteil- (und eventuell Vervielfältigungs-) Knotenpunkt (wie einem Switch) zu beziehen. Dadurch wird der Server und die Bandbreiten-Konsumation am Server-Netzwerk-Anschluss deutlich entlastet; weil nicht jede Verbindung einzeln gesendet werden muss (wie bei Unicast). Genauere Zusammenhänge sind im Kapitel 'Multicast' beschrieben.

Im Falle des Media-Servers ist hier die entscheidende Kenngröße der 'Daten-Upload pro Zeit', die Bandbreite/ Geschwindigkeit der zur Verfügung stehenden Netzwerk-Leitung bzw. die Anbindung an das Internet. (Für IP-TV beispielsweise ist eine schnelle Internet-Leitung Voraussetzung, weil für Fernsehen viele Medien-Daten transportiert werden müssen.¹¹⁹) Wenn zu viele Anfragen beim Server eingingen (zu kleine Leitungsbandbreite der Server-Anbindung), kommt es zu Problemen. Ein typischer Flaschenhals beim Streaming-Server ist die oben erwähnte Geschwindigkeit/ Bandbreite. Im Kapitel '4.6.1 Ist eine kleine oder große Bitrate für den Stream besser?' ist ein Rechenbeispiel zur Leitungsbandbreite des Streaming-Servers angeführt.

Eine Begrenzung der Clients macht somit Sinn. Bezahlte Streaming-Server verrechnen nach der möglichen, maximal gleichzeitigen Anzahl der Hörer¹²⁰; da sie je nachdem Leitungsreserven zur Verfügung stellen müssen. Die maximale erlaubte Anzahl von Clients ist bei Streaming-Server üblicherweise konfigurierbar.

116 Vgl. <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Unicast.html> „Punkt-zu-Punkt-Verbindung“, 2015-02-22

117 Vgl. <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Unicast.html> „Punkt-zu-Punkt-Verbindung“, 2015-02-22

118 Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-30

119 Vgl. <http://www.iptv-anbieter.ch/iptv-voraussetzung.html> „IPTV Voraussetzungen“, 2015-02-17

120 Vgl. <https://www.infomaniak.ch/de/streaming/audio/angebote> „Unsere Angebote“, 2015-02-17

4.2.4 Streaming-Client: Decoder am Ankunftsort

Der Streaming-Client nimmt die übertragenen Daten aus dem Netzwerk entgegen und setzt sie in ein Audiosignal um. Eventuell kommen die Medien-Daten ungleichmäßig an. Der Client verwendet zum Abspielen des empfangenen Streams einen Puffer. Dieser wird befüllt und entleert, während laufend neue Mediendaten eintreffen. Die neuen Daten werden ebenfalls zwischengespeichert und nachgeschoben.

TCP und der Puffer

Bei TCP werden Pakete nochmals versendet, die auf dem Weg zum Client verloren gegangen sind. Bei schlechten TCP-Verbindungen kann sich das nachteilig auswirken, da es mitunter zu vielen Rückfragen kommt. Wenn der Zwischenspeicher (engl.: cache; bzw. 'buffer') leergelaufen ist ('buffer underrun'), hat die laufende Aus- und Wiedergabe keine Daten mehr zum Abspielen. Im Falle von TCP ist der zeitnahe Erhalt ALLER Daten des Streams von großer Wichtigkeit. (Mehr dazu in Kapitel '4.4.3 TCP versus UDP'.)

Puffern und abspielen

Generell ist ein zeitnahe Erhalt der Medien-Daten wichtig, um eine korrekte Wiedergabe am Streaming-Client sicher zu stellen. Treffen zu wenige Pakete beim Streaming-Client ein, um das Audiosignal abspielen zu können, läuft der Datenpuffer leer ('buffer underrun'). Dieser Datenmangel macht sich hörbar bzw. sichtbar durch Aussetzer. Der Zwischenspeicher/ Puffer ('Cache'/ 'Buffer') spielt dabei die entscheidende Rolle. Wenn es gelingt, diesen laufend wieder zu befüllen, wird der Hörer nichts bemerken.

Ein großer Puffer verbessert die Möglichkeit, Übertragungs-Probleme auszugleichen, aber auch die Latenz (zeitlicher Versatz gegenüber dem Echtzeitsignal)¹²¹ steigt.

In der Anlage 'Beispiel Streaming-Client-Software mplayer' ist erklärt, wie sich in 'mplayer' der Puffer konfigurieren lässt und wie viel davon befüllt wird.

Puffer und Latenz sind ein weiteres Kompromiss-Thema, bei dem je nach Anwendung abgewogen werden sollte.

¹²¹ Vgl. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1303291.htm> „Übertragungstechnik“, 2014-12-31

4.3 Übertragungslösung bei Proton

4.3.1 Der Source-Client von Proton

Bei Proton ist der Live-Feed lediglich ein Software-Modul. Die Anforderungen dafür sind:

- Kompatibilität mit der Software 'jackd' Audio-Server; denn das Eingangssignal kann darüber abgegriffen werden
- Zulieferung zum Streaming-Server 'icecast2' implementiert/ eingebaut. (Das ist der verwendete Streaming-Server, der im nächsten Kapitel genauer behandelt wird.)

Damit war die Auswahl sehr beschränkt, so dass die Wahl auf die gängige, leicht verfügbare Open-Source-Komponente fiel, die auch in den Debian-Paketquellen bereit liegt: **'darkice'**.

Wie bei vielen Linux-Programmen üblich, gibt es bei 'darkice' eine Konfigurationsdatei, in der mit Texteinträgen Parameter gesetzt werden können. Diese wird beim Starten von 'darkice' in der Kommando-Zeile mit angegeben. Beim Hochstarten wird die hinterlegte Konfiguration angewandt. (Die verwendete Datei ist in der Anlage 'darkice.cfg; Konfigurationsdatei für Live-Feed SW 'Darkice' zu finden.)

Bei Proton werden dem Server 3 Streams zugeliefert, die in der Konfigurationsdatei beschrieben sind:

1. der Stream für die UKW-Sender
2. ein Ogg-Stream mit einer guten Qualität für die Proton-Online-Hörer und
3. ein MP3-Stream mit nicht der besten Qualität

Der MP3-Stream ist für Hörer gedacht, die Probleme haben, den Ogg-Stream abzuspielen, weil ihr Endgerät bzw. die Abspiel-Software Ogg-Vorbis-Streams nicht unterstützt (wie z.B. das 'Terratec NOXON iRadio 460+'¹²² oder der Apple-eigene Audio-player iTunes¹²³).

122 Vgl. http://www.amazon.de/gp/product/B005UD2REO/ref=pd_lpo_sbs_dp_ss_1?pf_rd_p=556245207&pf_rd_s=lpo-stripe&pf_rd_t=201&pf_rd_i=B001QBZANE&pf_rd_m=A3JWKAKR8XB7XF&pf_rd_r=0GFDB8FSCAGJ5HMQ8SCB „Terratec NOXON iRadio 460+ Internet Radio (DAB+/FM)“, 2015-02-16

123 Vgl. https://xiph.org/quicktime/faq.html#faq_itunes_stream „Does XiphQT allow one to listen to ogg network streams in iTunes?“ , 2015-02-16

Alle diese Zuliefer-Streams bleiben im Streaming-Rechner und werden an den dort eingerichteten Streaming-Server weiter gereicht. „*Um den Rechner mit sich selbst kommunizieren zu lassen, wird ein virtuelles Interface, also eine Schnittstelle, die sich wie eine virtuelle Netzwerkkarte verhält, erstellt*“¹²⁴ - bzw. ist das standardmäßig eingerichtet und muss nur noch adressiert werden. Diese Schnittstelle wird auch 'loopback-device' genannt. Die 'loopback-device'-Adresse ist 127.0.0.1 oder 'localhost'¹²⁵; was somit auch die Zieladresse für den Live-Feed ist.

Beispiel aus der verwendeten 'darkice.cfg'; Konfigurationsdatei für Live-Feed SW 'Darkice' (die vollständig in den Anlagen einzusehen ist):

```
[icecast2-0]
# fuern internen Server - FETTER VERSORGUNSSSTREAM
format          = vorbis
bitrateMode     = vbr          # constant bit rate
quality         = 0.6
maxBitrate      = 206          # geht nur fuer ogg
server          = localhost
```

4.3.2 Streaming-Server bei Proton

Bei Proton werden http-Streams verwendet, die beim Streaming-Server am Studio-Standort abgeholt werden können. Dazu muss sichergestellt werden, dass der Server von der Außenwelt bzw. im Internet auch zugänglich ist und nicht komplett von der Firewall des Routers geblockt wird. Bei Proton ist ein Port-Forwarding eingerichtet, auf den Port 7998, der an den Streaming-Server weiter geleitet wird.

Der typische Port für Audio-Streams ist 8000. Der Proton-Stream, den die Internet-Hörer beziehen können, verwendet diesen. Der Port-8000-Stream war auch schon vor dem Projekt zur Sender-Anbindung über Streaming (2009) eingerichtet. Der Live-Feed für den Internet-Hörer-Stream wurde bereits seit dem Jahr 2002 mehr oder weniger regelmäßig aus den Studio-Örtlichkeiten zugeliefert.

Ein Problem von Proton ist, dass die Radiostation nur sehr begrenzt über UKW hörbar ist. Die einzige Alternative bietet das Internet. Proton kann über den http-Stream gehört werden. Dieser wird vom gleichen Rechner weiter gereicht, der auch die Website 'radioproton.at' hostet.

124 <http://www.informationsarchiv.net/articles/1117/> „Bedeutung der IP-Adresse 127.0.0.1“, 2015-02-16

125 Vgl. <http://www.informationsarchiv.net/articles/1117/> „Bedeutung der IP-Adresse 127.0.0.1“, 2015-02-1640

Den Port 7998 wurde für das Streaming-Projekt zur Anbindung der Sender gewählt, um am bereits länger bestehenden Stream (auf Port 8000) nichts verändern zu müssen. Die Wahl fiel auf 2 weniger als 8000, weil 'shoutcast' (eine Streaming-Server-Software) nicht auf dem gleichen Port den Live-Feed (vom Source-Client) empfangen und Streams an die Hörer (Listener-Clients) weiter geben kann. Dies würde zu Komplikationen führen. So gibt die Hilfe für die Konfiguration von 'Icecast' (der verwendete Streaming-Server bei Proton) auch heute noch an, dass im „Shoutcast compatibility mode“ der Feed ein Port mehr sein muss als der Listener-Port.¹²⁶

Für Proton wurde als Streaming-Server nicht 'Shoutcast' gewählt, sondern 'Icecast2'. (Icecast2 steht für Icecast Version 2¹²⁷; aktueller Stand Februar 2015 ist Version 2.4.1 als „production-release“¹²⁸ oder für die Beta-Tester die Version 2.5 beta1¹²⁹.) Online gibt es eine Gegenüberstellung dieser beiden Server, die besagt, dass bei shoutcast nur ein Feed zur gleichen Zeit verarbeitet werden kann („*SHOUTcast Server can only handle 1 feed a time*“¹³⁰). Icecast hingegen könne bis zu 3 unterschiedlichen Feeds auf dem gleichen Port weiter reichen.¹³¹ Aber in der Online-Hilfe zur Konfiguration von Icecast kann kein Hinweis zur angeblichen Begrenzung gefunden werden!¹³²

Icecast2 unterstützt den Codec 'Ogg Vorbis', der im Projekt zur Anwendung kommt, und ist eine Free Open Source Software (kurz FOSS). Die Software gibt es in den Paket-Quellen von Debian Linux. Sie musste also nicht compiliert werden. Aber konfiguriert – In der Anlage ist die 'icecast.xml'; Konfigurationsdatei für den http-Streaming-Server Icecast2' zu finden, wie sie aktuell bei Proton im Einsatz ist.

126 Vgl. <http://icecast.org/docs/icecast-2.4.1/config-file.html> „Icecast 2.4.1 Docs — Config File“, 2015-02-21

127 Vgl. <http://streambox.org/elc/receive/ice1status.htm> „The Icecast status page“, 2015-02-22

128 Vgl. <http://icecast.org/download/> „Icecast Current Release (2.4.1)“, 2015-02-22

129 Vgl. http://icecast.org/news/icecast-release-2_5-beta1/ „Icecast Release 2.5 beta1“, 2015-02-22

130 <http://www.shouhost.com/what-is-better-shoutcast-or-icecast> Titel: „SHOUTcast or IceCast“, 2015-02-21

131 Vgl. <http://www.shouhost.com/what-is-better-shoutcast-or-icecast> Titel: „SHOUTcast or IceCast“, 2015-02-21

132 Vgl. <http://icecast.org/docs/icecast-2.4.1/config-file.html> „Icecast 2.4.1 Docs — Config File“, 2015-02-21

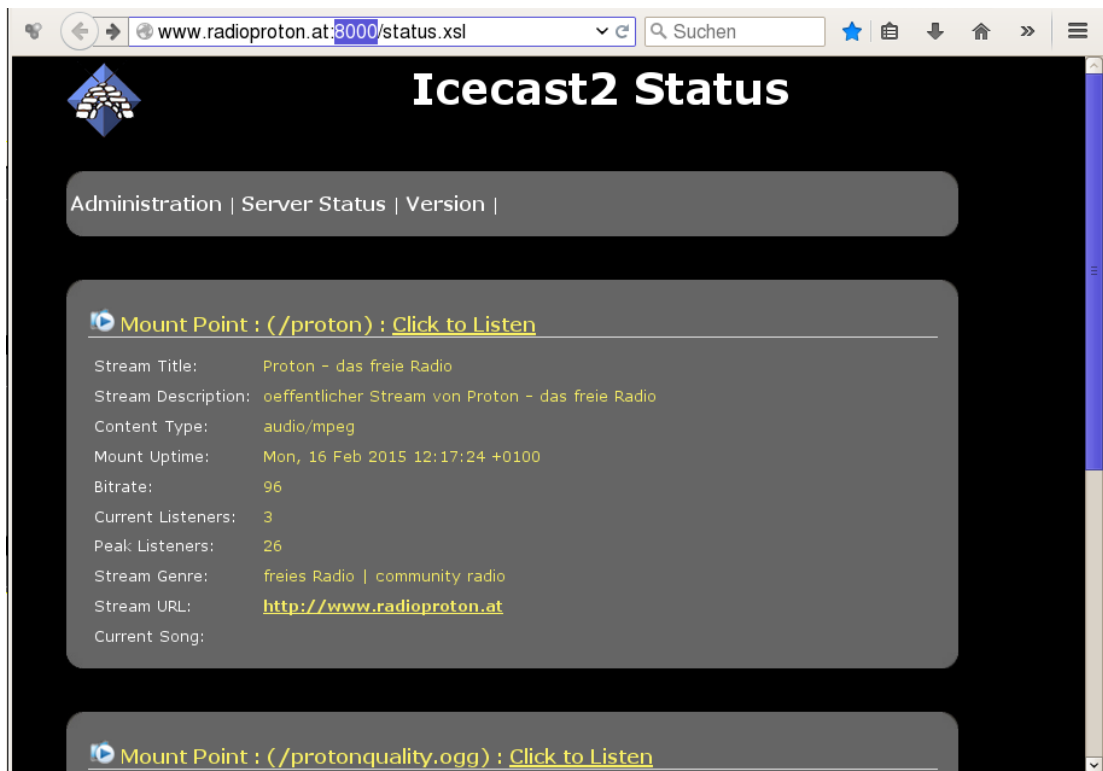
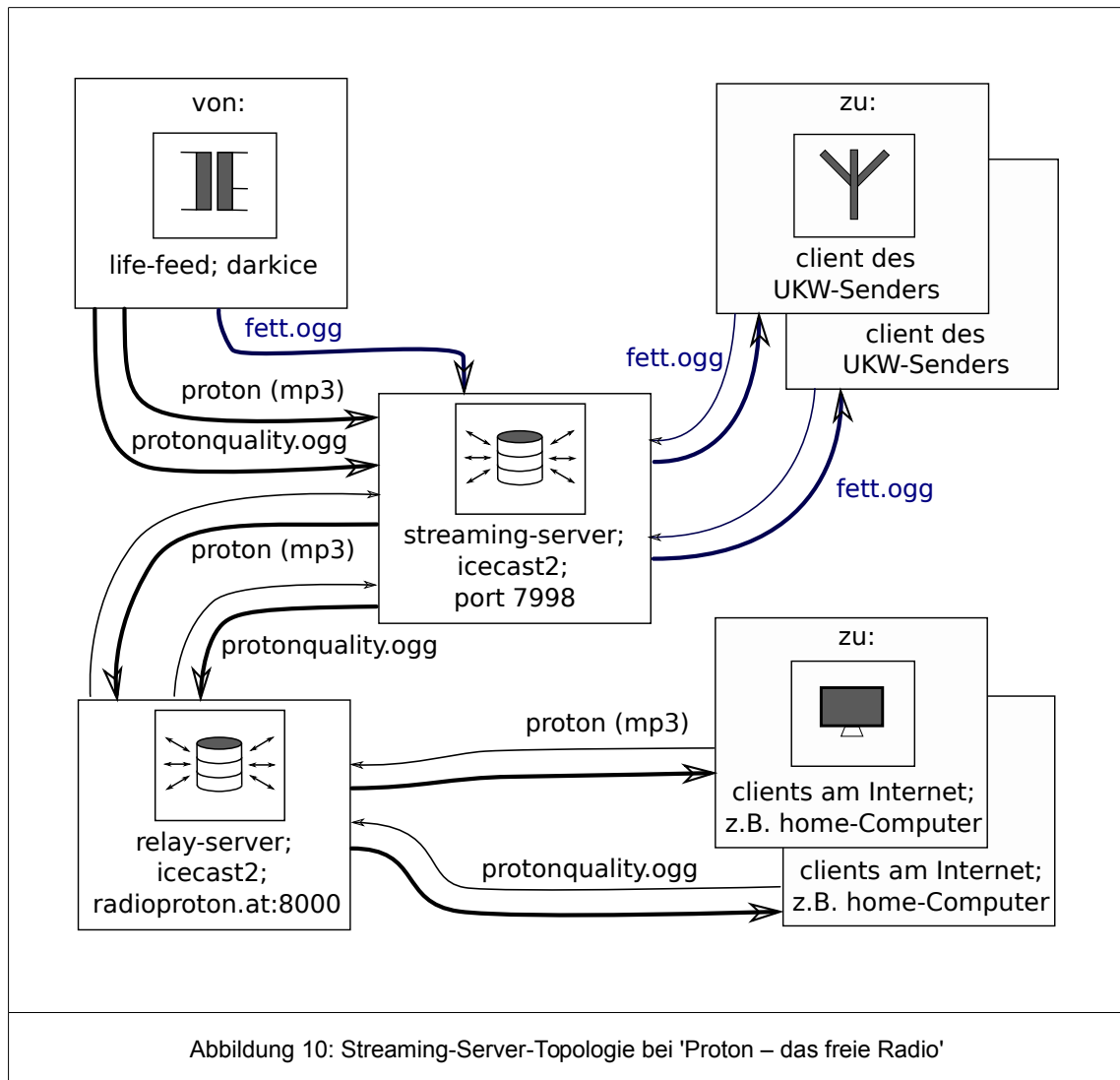


Abbildung 9: Icecast2-Server-Status für die Streams am Port 8000 auf 'RadioProton.at'

Topologie Protons Streaming-Server

Über diesen Icecast2-Server am Studio-Standort laufen alle 3 Streams, die von 'darkice' produziert werden. Nur der Stream 'fett.ogg' wird von den Sendern abgeholt. Er hat eine besonders hohe Bitrate, um gute Qualität bei der Ausstrahlung zu gewährleisten. Die anderen 2 Streams, die für die Hörer über Internet gedacht sind, werden vom Streaming-Server in den Studio-Räumlichkeiten zum Relay-Server weiter gereicht.



Das wurde so eingerichtet, damit es zu keinen Bandbreite-Problemen kommt, wenn ein hoher Andrang herrscht und viele Hörer gleichzeitig über Internet Proton hören wollen. Die Clients, die das Audiosignal an die UKW-Sender weiter geben, sollen jederzeit genug schnell Daten-Nachschub erhalten ('Buffer Underrun' vermeiden!).

Ein 'Quality of Service' (QoS; Bevorzugung von Datenverkehr konfigurierbar) ist am Studio-Router eingerichtet. Dieses geht nach Ports vor und kann nicht zwischen den einzelnen Streams unterscheiden. Alle Daten auf dem Port 7998 werden gleich wichtig ausgewertet.

Der Streaming-Server am Proton Studio-Standort dient lediglich als Input für einen sogenannten Relay-Server. Über diesen zweiten Server werden die Internet-Hörer bedient. Der Relay-Server übernimmt das Verteilen an die möglicherweise vielen Internet-Hörer. Eine größere Bandbreite für die Internet-Hörer braucht der Relay-Server. In diesen komplexen Strukturen zwischen Client und Server nimmt ein (der Zweite, der Re-

lay-)Server selbst wiederum den Dienst eines anderen (den ersten Streaming-) Servers in Anspruch.¹³³

In der Anleitung zu 'Icecast' steht, dass die 'Relays' als Pull-System implementiert sind, bei dem der empfangende Server sich als Zuhörer mit dem sendenden Server verbindet.¹³⁴ Da bei Proton nicht alle Streams weiter gereicht werden an den zweiten Server, wird die Methode „Specific Mountpoint Relay“ verwendet. Das wird am Pull-Server in der Konfigurationsdatei festgelegt (mit dem <relay>-tag). Der Server, der den Stream weiter reicht bzw. an dem per „Pull“ abgeholt wird, braucht keine speziellen Konfigurationen. (Deshalb ist in der Datei 'icecast.xml'; Konfigurationsdatei für den http-Streaming-Server Icecast2' am Studio-Standort nichts davon zu sehen. Die Relay-Einträge wären in der Datei 'icecast.xml' vom Website-Host zu finden.)

Der Relay-Server bezieht die Streams per „Pull“ nur dann, wenn sie tatsächlich von Hörern bzw. von Clients angefordert werden. Die Belastung bei hohem Hörerandrang liegt nicht auf dem Streaming-Server am Studio-Standort. Deshalb wurde diese Lösung gewählt.

4.3.3 Zusammenfassung der Übertragungslösung bei Proton

In diesem Kapitel ist eine Auflistung der verwendeten Komponenten bei Proton angeführt. Im Blockschaltbild auf Seite 8 ist deren Anordnung in der Signalkette graphisch dargestellt.

Am Studio-Standort

Source-Client: Linux-Software Darkice (3 Streams; .ogg und .mp3)

Streaming-Server: Linux-Software Icecast2; http-Streaming, TCP, Pull-Modus

Fixe IP des Internet-Zuganges; Port-Forwarding am Router für 7998, TCP (damit die Clients auf den Server zugreifen können)

Für die Sender, an den Sender-Standorten bzw. direkte Zubringer:

Streaming-Client: Barix Exstreamer 100 an Internet-Anschluss

Für die Internet-Radio-Hörer, am Standort des Host von 'radioproton.at':

Streaming-Relay-Server: Linux-Software Icecast2 (für die Weiterverteilung der bezogenen Streams)

¹³³ Klaus Chantelau, René Brothuhn; 2009, S 7

¹³⁴ Vgl. <http://icecast.org/docs/icecast-2.4.1/config-file.html> „Icecast 2.4.1 Docs — Config File“, 2015-02-21

Port-Forwarding am Router für 8000, TCP (damit die Clients auf den Server zugreifen können)

Um einen Blick auf Alternativen zu werfen, werden im nächsten Kapitel weitere Möglichkeiten für Streaming vorgestellt. Eine Übertragungslösung bei Proton, die Pull und UDP verwendet, wäre gegenüber der momentanen Anwendung von Vorteil.

4.4 Unterschiedliche Streaming-Methoden für den Vergleich

4.4.1 Historisches zu Streaming

Bei der Veröffentlichung des 'world wide web' vor über 20 Jahren machte der Wissenschaftler Tim Berners-Lee von 'Cern' Dokumente in Schriftform remote über das Internet abrufbar¹³⁵. Audio über Internet gab es auch schon erstaunlich früh. So gibt Prof. Hußmann von der Ludwig-Maximilians-Universität München in seiner Vorlesung zu 'Multimedia im Netz' an:

„1991: The World Wide Web makes its debut on the Internet.

1992: World's first MBone audio cast (vat), 23rd IETF, San Diego

1995: RealAudio brings streaming audio to Web users. Streaming video soon follows.“¹³⁶

Bernd Girod von der Stanford University gibt in seinem handout auch noch an:

*„1994: Rolling Stones concert on MBone“*¹³⁷

Trotz dieser frühen Pionierleistungen von Audioübertragungen im Internet brauchte es noch einige Entwicklung, um Audio- und Video-Streaming zu etablieren.

¹³⁵ Vgl. <http://home.web.cern.ch/topics/birth-web> „The birth of the web“, 2015-02-23

¹³⁶ <https://www.medien.fh-lmu.de/lehre/ws1213/mmn/vorlesung/mmn1.pdf> „History“ of Networked Multimedia“, 2015-02-23

¹³⁷ <http://web.stanford.edu/class/ee398b/handouts/lectures/08-VideoOverNetworks.pdf> „A brief history of streaming media“, 2015-02-23

4.4.2 Push-Server und Pull-Clients

Bei Streaming-Servern wird auch zwischen „Pull“ und „Push“ unterschieden - je nachdem, wie die Daten ausgeliefert werden.

Push-Server

Für Media-Streaming-Server können auch Push-Server zum Einsatz kommen. Der Server liefert kontinuierlich Daten, ohne eine Bestätigung oder eine Abfrage abzuwarten. Der Push-Server kontrolliert den Sendeprozess.¹³⁸ „*Oftmals wird ein Push Server auch als Data Pump bezeichnet*“.¹³⁹ Diese Server verwenden ein UDP basierendes Anwendungsprotokoll wie RTP für die Video- und/oder Audio-Datenübertragung. Im Push-Modus gibt es keinen Stopp. Der Server bemerkt nicht, ob ein Client verbunden ist oder nicht.¹⁴⁰

Es bedarf einer zusätzlichen Kommunikationsebene, um den Datenfluss zu kontrollieren oder auch von der Client-Seite anzufragen/ initiieren. Ansonsten schickt der Push-Server die Daten nur ins Netzwerk, z.B. an eine Multicast-Adresse, unidirektional, ohne Feedback zu erwarten. Für die Kontrolle von Servern im 'Data Pump'-Betrieb kann RTSP für Kontroll-Anweisungen verwendet werden; typischerweise über TCP-Verbindungen.¹⁴¹

Pull-Clients

BRTP, Barix RTP

Um die Vorzüge von UDP und RTP zu nutzen, aber trotzdem den Pull-Modus vom Client zu verwenden, hat Barix BRTP entwickelt. BRTP steht für Barix RTP. Der Server sendet den Stream nur, wenn er angefragt wurde.¹⁴² Der Streaming-Client bezieht (Pull), in dem er alle 1, 2 Sekunden eine Anfrage an den Streaming-Server schickt und so den Port in einer Firewall beim Client offen hält.

TCP und http

Auf der anderen Seite gibt es das typische Client-Pull-Modell, wie es bei jedem Web-Server zum Einsatz kommt. Der Client fragt die Informationen an, der Server stellt sie bereit und übermittelt sie; der Client bestätigt den Erhalt. Wenn der Client dann noch

¹³⁸ Vgl. Steinmetz, Ralf; 2000, S 339

¹³⁹ Steinmetz, Ralf; 2000, S 339

¹⁴⁰ Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

¹⁴¹ Vgl. <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=169578&seqNum=3> „Real Time Streaming Protocol (RTSP)“, 2015-02-20

¹⁴² Vgl. http://www.barix.com/fileadmin/data/howto/Howto_Instreamer-Exstreamer_v111.pdf „How to Instreamer to Exstreamer connection“, 2015-04-30

mehr Daten will, liefert der Server diese.¹⁴³ Das ist typisch für einen Http-Stream (und damit auch TCP).

Dieses Verhalten der Pull-Clients löst aber sogenannte „bursts“ aus. Sobald der Client Daten anfordert - der Client kontrolliert den Prozess - soll der Server ausliefern. (Noch mehr ins Gewicht fällt das bei On-Demand-Streaming.) Dabei wäre ein *„hinreichend großer und nahezu konstanter Datendurchsatz für die gesamte Netzauslastung wesentlich günstiger“*¹⁴⁴, wie das ein Push-Server propagiert und Quality of Service (QoS) im Netzwerk versucht, sicher zu stellen. (Manche Firmware für Router stellt QoS zur Verfügung.¹⁴⁵) *„In großen Netzen wie dem Internet ist diese Forderung jedoch unrealistisch. Das Netz hat sich aus Burstanwendungen heraus entwickelt.“*¹⁴⁶ Die Realisierung von Push-Streaming-Servern ist aufwändiger zu realisieren und nicht so gängig wie das Pull-Client-Modell, das bei jeder http-Web-Page Anwendung findet.

4.4.3 TCP versus UDP

TCP

TCP garantiert den fehlerfreien und sicheren Transport der Daten durch Ankunftsbestätigungsmeldungen. In UDP gibt es keine solche Versicherung.¹⁴⁷

Da http-Streams über TCP (und nicht über UDP) funktionieren (http verwendet immer TCP¹⁴⁸), wird überprüft, ob denn alle Datenpakete angekommen sind. Das erfolgt über eine Acknowledge-Message. (Das ist das typische 'Transfer Control Protokoll'-Auslieferungsverhalten.) Eine Grafik dazu ist auf Seite 45, 'Abbildung 8: TCP-Streaming erklärt in der Server-Client-Struktur', zu sehen.

Es hat sich aber heraus gestellt, dass TCP nicht immer das beste Prinzip ist. Für Stream-Übertragungen ist es gar nicht so entscheidend, dass alle Daten beim Empfänger eintreffen. Viel wichtiger erscheint, dass sie zeitnah ankommen; ein paar Prozent

143 Vgl. <http://www.e-teaching.org/technik/vernetzung/architektur/client-server/> „Client-Server“, 2015-02-20

144 Klaus Chantelau, René Brothuhn; 2009, S 27

145 Vgl. <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3800416/How-to-Manage-Traffic-Using-Tomato-and-QoS.htm> „How to: Manage Traffic Using Tomato and QoS“, 2015-02-22

146 Klaus Chantelau, René Brothuhn; 2009, S 27

147 <http://www.searchnetworking.de/antwort/Welche-Gemeinsamkeiten-und-Unterschiede-haben-TCP-IP-und-HTTP> , 2015-04-06

148 Vgl. <http://www.searchnetworking.de/antwort/Welche-Gemeinsamkeiten-und-Unterschiede-haben-TCP-IP-und-HTTP> , 2015-04-06

Datenverlust sind mitunter vom Empfänger gar nicht wahrnehmbar bzw. werden nicht zwangsmäßig als störend empfunden. Ein kurzer Unterbruch stört die Wahrnehmung aber fast immer.

Puffer leergelaufen ('buffer underrun') unter TCP

Mit TCP kann ein 'buffer-underrun' passieren, weil Übertragungsfehler sich angestaut haben. Bei Netzwerk-Problemen steigen die Übertragungsfehler und mit TCP auch die zusätzlichen Nachfragen, um fehlerhafte Pakete nochmals zugestellt zu bekommen. Damit erhöht sich die Anzahl der Anfragen, denn es wird solange nachgefragt und wiederholt, bis die Pakete richtig angekommen sind. Die gehäuften Anfragen verlangsamt das Herausgeben der aktuellen Daten. Der Server kommt mit dem Daten-Nachschub nicht mehr nach. Der Client hat zu wenig Daten zum Abspielen – der Puffer läuft leer. Ein komplett leerer Puffer bedeutet kein Audio zum Abspielen. Es kommt zu Hackern und zu längeren Aussetzern, weil die Nachfragen des TCP sich erst abbauen müssen. Eventuell reißt die Übertragung ab und muss komplett neu aufgebaut werden.

UDP kennt auch 'buffer underruns'. Das Hochschaukeln von Anfragen ist aber TCP-spezifisch. Es macht die Situation bei Übertragungsfehlern schwierig. Für Video-Streaming ist das nochmals problematischer, weil viel größere Datenmengen transportiert werden müssen (meist besteht Video aus Ton und Bild).

Die **Latenz** ist **bei TCP** nicht so genau absehbar, denn die Pakete können erst abgespielt werden, wenn die Ankunft auch bestätigt wurde. Das benötigt mehr Zeit als bei UDP ohne Sicherheitsabfragen. Streaming-Experte Stefan Giessler von Barix weist darauf hin, das TCP nicht für Sattelitenübertragung geeignet ist. Die 300 bis 800 ms vor dem Verbindungsabbruch (Timeout) reicht für eine stabile Übertragung nicht aus.¹⁴⁹

149 Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

Netzwerkaufzeichnung eines http-Streams

No.	Time	Delta	Source	Destination	Dest.port	Protocol	Length	Info
243	2015-02-25 10:45:31.762310	0.262330	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1448	192.168.11.133 > 45196 [PSH, ACK] Seq=159150
246	2015-02-25 10:45:31.762654	0.000144	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=159150
247	2015-02-25 10:45:31.842234	0.079580	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	734	192.168.11.133 > 45196 [PSH, ACK] Seq=159150
248	2015-02-25 10:45:31.842319	0.000085	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=159150
249	2015-02-25 10:45:31.976366	0.134047	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	67	192.168.11.133 > 45196 [PSH, ACK] Seq=159150
250	2015-02-25 10:45:31.976594	0.000228	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=159150
251	2015-02-25 10:45:32.045311	0.068717	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1514	192.168.11.133 > 45196 [ACK] Seq=159150
252	2015-02-25 10:45:32.045472	0.000161	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=159150
253	2015-02-25 10:45:32.045478	0.000006	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1514	192.168.11.133 > 45196 [ACK] Seq=159150
254	2015-02-25 10:45:32.045733	0.000255	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1514	192.168.11.133 > 45196 [ACK] Seq=160598
255	2015-02-25 10:45:32.045738	0.000005	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1514	192.168.11.133 > 45196 [ACK] Seq=160598
256	2015-02-25 10:45:32.045740	0.000002	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	418	192.168.11.133 > 45196 [PSH, ACK] Seq=160598
257	2015-02-25 10:45:32.045742	0.000002	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=160598
258	2015-02-25 10:45:32.045924	0.000182	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=160598
259	2015-02-25 10:45:32.046056	0.000132	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=160598
260	2015-02-25 10:45:32.046221	0.000165	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=160598
261	2015-02-25 10:45:32.310887	0.264666	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1514	192.168.11.133 > 45196 [ACK] Seq=163846
262	2015-02-25 10:45:32.310898	0.000011	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1514	192.168.11.133 > 45196 [ACK] Seq=163846
263	2015-02-25 10:45:32.311043	0.000145	212.53.158.91	192.168.11.133	45196	TCP	1266	192.168.11.133 > 45196 [PSH, ACK] Seq=163846
264	2015-02-25 10:45:32.311049	0.000006	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=163846
265	2015-02-25 10:45:32.311240	0.000191	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=163846
266	2015-02-25 10:45:32.311402	0.000162	192.168.11.133	212.53.158.91	45196	TCP	66	45196 > 192.168.11.133 [ACK] Seq=163846

Frame 253: 1514 bytes on wire (12112 bits), 1514 bytes captured (12112 bits) on interface eth0
 Ethernet II, Src: Hewlett-Packard_63:25:79 (00:11:0a:63:25:79), Dst: Barix_03:c0:70 (00:08:e1:03:c0:70)
 Internet Protocol Version 4, Src: 212.53.158.91 (212.53.158.91), Dst: 192.168.11.133 (192.168.11.133)
 Transmission Control Protocol, Src Port: irdmi (8000), Dst Port: 45196 (45196), Seq: 159150, Ack: 1, Len: 1448
 Source port: irdmi (8000)
 Destination port: 45196 (45196)
 [Stream index: 0]
 Sequence number: 159150 (relative sequence number)
 [Next sequence number: 160598 (relative sequence number)]
 Acknowledgement number: 1 (relative ack number)

File: /tmp/wireshark_eth0_20150225104531.pcapng Packets: 266 Displayed: 266 Marked: 0 Dropped: 0 Profile: Default

Abbildung 11: Netzwerk-Verkehr eines Testgerätes, dass ein http-Stream bezieht (Pull)

In der Abbildung oben bezieht das Testgerät (192.168.11.133) einen Stream aus dem Internet (vom Server 212.53.158.91) über TCP. Jedes Paket wird bestätigt. (Destination und Source wechseln.) Der verwendete Port des Streaming-Servers ist 8000 (wie in der Paketinfo unten gelistet ist. 'irdmi' steht in diesem Fall für 8000.) Ebenfalls in diesem Screenshot zu sehen - das Eintreffen vom Server zweier aufeinander folgenden Paketen dauerte bis zu 270 Millisekunden.

Internet-Radio ist über http

Die Kehrseite von http-Streaming ist für Audio nicht so gravierend. Die Nachteile stören selten. Im gesamten Angebot von Internet-Radios, sowie im Audio-Consumer-Bereich, ist http-Streaming und das Anfordern des Streams über 'Progressive Download' der Standard!

Der Vorteil bei http-Streaming ist die durch die Verbreitung vom WWW bekannten und etablierten Bedingungen von TCP. Es müssen keine Ports an der Firewall frei geschal-

ten werden. http-Streaming und Internet-Radio ist somit der breite Masse und ohne langwierige Konfigurationsarbeiten zugänglich.

Die Nachteile wiegen nicht so schwer. Audio-Frames kommen normalerweise nicht durcheinander – es wird jeder einzeln bestätigt (TCP). Es kommt nur selten zu Drop-Outs und das nur, wenn es zu Netzwerk-, Bandbreiten- oder Leitungsproblemen kommt. Im Gegensatz zu Video wird hier nur ein Bruchteil an Daten benötigt und über das Internet verschickt.

UDP und RTP

Im Gegensatz zu TCP und http beruht VoIP, die Telefonie über das Internet, auf dem SIP-Protokoll, das üblicherweise UDP als Daten-Übertragungsart verwendet.¹⁵⁰ UDP ist für Live-Streaming vorzuziehen, um Aussetzer und Hacker im Audio zu vermeiden. Wenn dort ein paar Pakete des nötig-großen Datenstrom verloren gehen, ist das kaum zu hören.

Eine brauchbare Lösung dafür ist das 'Realtime Transport Protokoll'. *„RTP [...] gewährleistet einen durchgängigen Transport von Daten in Echtzeit. Speziell für Audio- und Video-Daten, bei denen je nach Codec 1-20% Paketverlust tolerierbar sind.“*¹⁵¹ (Codecs werden in einem nachfolgenden Kapitel näher erläutert.) RTP verwendet UDP. Im Header werden einige Zusatzinformationen für jedes Datenpakets mitgeschickt: Codec, Sequenznummer, Zeitstempel, Synchronisation und evt. Verschlüsselung.¹⁵² Der Stream hat damit den Vorteil, dass die Pakete in der richtigen Reihenfolge zusammen gesetzt werden können.

Eine Fehlerkorrektur bei RTP kann durch Kopieren von Paketen erfolgen. Ein Paket, das verloren gegangen ist, kann so nicht hörbar überbrückt werden. Auch beim Ausfall von zwei, drei Paketen ist das kaum hörbar. (Die Paketlänge ist ein Frame. Bei mp3 ist das je nach Sample-Rate von 32kHz, 44.1kHz, 48kHz, entsprechend 36ms, 26ms, 34ms.)¹⁵³

150 Vgl. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0905111.htm> „SIP - Session Initiation Protocol“, 2014-12-28

151 <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1106071.htm> „RTP - Realtime Transport Protocol“, 2014-12-28

152 Vgl. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1106071.htm> „RTP - Realtime Transport Protocol“, 2014-12-28

153 Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-30

RTP-Streams, die UDP verwenden, sind somit geeigneter für einen Echtzeit/„live“-Betrieb. Verluste werden besser überspielt. verwendet per Definition TCP. Die Daten werden dabei auf Vollständigkeit überprüft.

Netzwerkaufzeichnung eines RTP-Streams

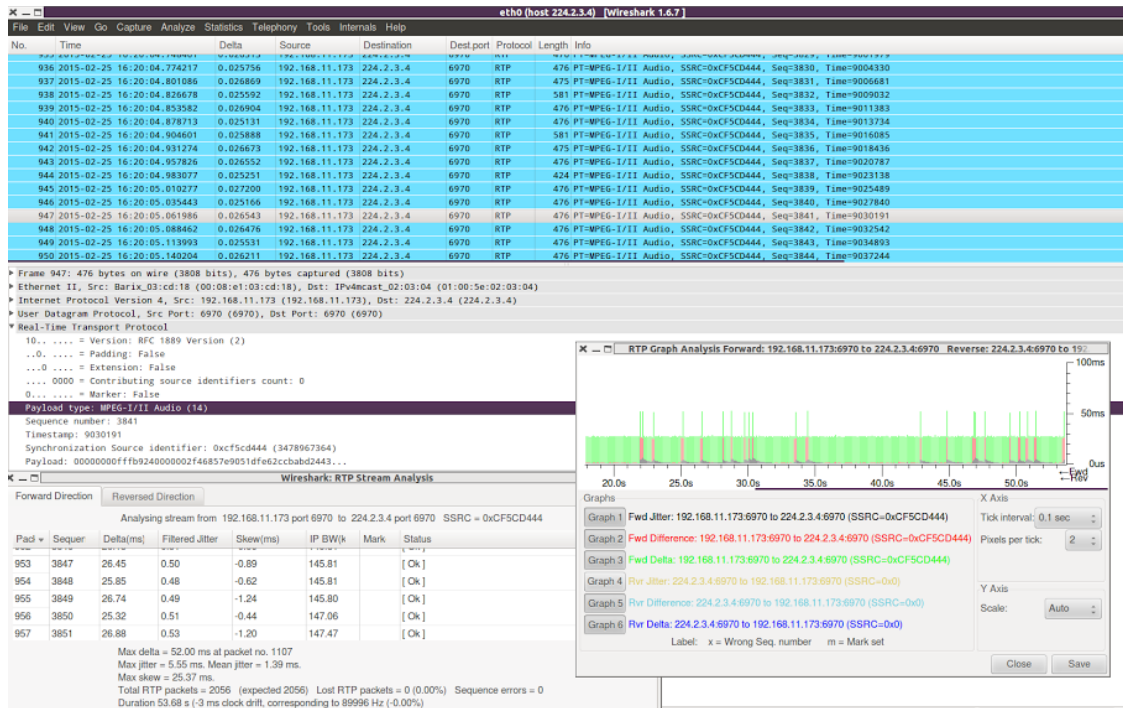


Abbildung 12: Netzwerk-Verkehr eines Streaming-Servers, der ein RTP-Stream verschickt (Push)

In der Abbildung oben verschickt ein Streaming-Server (Barix Instreamer mit der IP 192.168.11.173) einen Stream an eine Multicast-Adresse (224.2.3.4) über RTP (UDP). Wenn sich ein Client für diese Adresse anmeldet, kann er den Stream beziehen. In der graphischen Analyse ist zu sehen, dass die Pakete sehr regelmäßig gesendet werden. Die Sendegeschwindigkeit stimmt mit der Frame-Länge von MP3 bei 44,1 kHz Sample-rate überein, die 26 Millisekunden beträgt. (siehe Fenster 'Wireshark: RTP Stream Analysis' Es werden in diesem Fall 38 Pakete pro Sekunde versendet.) Im Hauptfenster ist die im Paket-Header mitgelieferte Sequenz-Nummmmer und der Codec zu sehen.

Latenz

Mit UDP sind die Latenzen zwischen Audio-Input und -Output absehbar. Optimal sind 32ms bei einer PCM-48kHz-Übertragung im LAN. Bei einer mp3-Übertragung sind es 180ms. (Das sind die Werte, die sich aus dem Encoding und der Frame-Größe, durch die Übertragung, v.a. aber am Decoder, durch das Pakete empfangen und analysieren, ergeben.) Um Latenzen kurz zu halten, kommt für Stefan Giessler vom Barix-Support nur UDP in Frage.¹⁵⁴

Gerade für Sport-Events wie Fußball mutet es seltsam an, wenn in der Nachbarswohnung schon ein paar Sekunden früher gejubelt wird, weil der Video-Stream mit dem Tor bei dem einen Übertragungsweg schneller ankommt. Die FAZ zeigt in einer Info-Grafik: der Unterschied zwischen Satellit und DVB-T liegt bei 1-3 Sekunden (zwischen Satellit- und Kabel kommt es zu 5-10 Sekunden). Erklärt wird das damit, dass es bei DVB-T noch einen zusätzlichen „Datenpuffer“ gibt - der somit die Latenzzeit erhöht - um alle ausstrahlenden Sender synchron zu bekommen. (Beim Kabel wird mitunter das Signal eines Sender in neue Multiplexe zusammen geführt, was wiederum Rechenzeit benötigt.)¹⁵⁵

4.5 Alternative Übertragungslösungen

Als Alternative zur vorgestellten Übertragungslösung bei Proton wird Barix aus folgenden Gründen erwähnt: Die Geräte der Firma sind vielseitig konfigurierbar. Sie haben sich etabliert und sind im Rundfunk weit verbreitet, um Streaming zu realisieren.

Barix

Barix ist ein kommerzieller Anbieter von Streaming-Produkten und auch einer eigenen Lösung zur Anbindung vom Studio zum Radiosender. Nach dem Kauf der Barix-Hardware kann man unterschiedliche Firmware auf die Geräte laden.

Die Barix Komponenten bieten den Vorteil, dass UDP zur Übertragung verwendet werden kann; RTP (UDP) für den Push- oder BRTP, das Barix-RTP-Protokoll, im Pull-Modus.¹⁵⁶ Live-Feed/ Source-Client und Streaming-Server sind im gleichen Gerät untergebracht.

154 Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

155 Vgl. <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/audio-video/fussball-wm-warum-jubelt-der-nachbar-immer-frueher-12992267.html> „Fußball-WM // Warum jubelt der Nachbar immer früher?“ , 2014-12-31

156 Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

Kosten: ¹⁵⁷Preise geschätzt vom Barix Support, 157

Barix Instreamer: ~400€

Barix 'Exstreamer 100': ~150€

Barix 'Exstreamer 500': ~550€

Für die Umsetzung des Studio-Transmitter-Links werden zwei 'Exstreamer 500'-Geräte empfohlen. Diese Lösung bietet einen Rückkanal an. (Bidirektional. So kann man beispielsweise das Audio-Signal abhören, das über den Sender geht.)¹⁵⁸

Eine andere Möglichkeit, unidirektional, ist ein Instreamer am Studio-Standort und ein Exstreamer beim Sender. Das entspricht der Proton-Lösung, wobei diese TCP verwendet.

Die **Empfehlung** des Barix Support ist UDP. Je nachdem, wo leichter eine fixe IP-Adresse oder ein DNS-Name verfügbar ist (meistens beim Studio), empfiehlt Stefan Giessler BRTP (Pull vom Client, fixe Studio IP) oder RTP (Push vom Server, fixe IP der Sender). Für Übertragungen über das Internet empfiehlt er den verlustbehafteten MP3-Codec. (Der Streaming-Encoder kann kein AAC+ oder 'Ogg Vorbis'.) Bei einer schnellen Leitung (1,5 Gigabit/sec) mit der Bitrate 320 kilobit/sec; Aber auch 192 und 128 kbps sind gängige Werte.¹⁵⁹

4.6 Interessante Fragen und Antworten zu Streaming

Sobald man sich ein bisschen mehr mit Streaming auseinander setzt, erweitert sich das Ansichtsspektrum, und neue Fragen ergeben sich. Den meisten Technikern ist es ein Anliegen, die Performance zu verbessern. Häufig bietet eine Methode einen Vorteil, bringt dafür aber andere Nachteile ein. Mit der Zusammenstellung von ein paar Fragen und den Antworten dazu, soll mehr Klarheit zu Streaming geschaffen werden.

Häufig gestellten Fragen (FAQ):

- Ich möchte nicht für jeden Client einzeln Daten verschicken, weil dann am Server viele Datenströme abgeholt werden. Geht das?

¹⁵⁷ Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

¹⁵⁸ Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

¹⁵⁹ Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

→ Antwort: Multicast wäre hierfür eine Lösung (siehe Kapitel 4.6.2 Multicast). Für http-Streaming könnten Relay-Server verwendet werden (mehr dazu im Kapitel 'Streaming-Server bei Proton').

- Ich würde gerne einstellen, dass ein paar Datenpakete auch verloren gehen dürfen, damit es zu keinen Audio-Unterbrechungen kommt. Ist das möglich?

→ Antwort: Ja. Das ist ausschließlich mit der Verwendung von UDP möglich. Mit TCP müssen alle Pakete übermittelt und bestätigt werden. Mehr Details siehe Kapitel 4.4.3 TCP versus UDP

- Biete ich besser Streams mit kleineren Bitraten an meinem Server an? (Das ist eine reale Frage, die so vor kurzem beim Barix-Kundendienst eingegangen ist.)

→ Antwort: Dafür ist eine Abschätzung von der Bandbreite des Servers, maximal erwarteter Anzahl von Clients und der verwendeten Bitrate nötig. Details dazu im Kapitel 4.6.1 'Ist eine kleine oder große Bitrate für den Stream besser?'

- Welchen Codec soll ich verwenden?

→ Antwort: Opus, AAC+ oder 'Ogg Vorbis' sind effizienter in der Nutzung von psycho-akustischen Effekten und in der Daten-Kompression als MP3. Bei gleicher Qualität fallen weniger Daten an. Ein effizienter Codec ist vorzuziehen, wenn alle Komponenten damit kompatibel sind. Die Bandbreite und das versendete Datenvolumen wird so geschont.

4.6.1 Ist eine kleine oder große Bitrate für den Stream besser?

Viele Einsteiger und Technik-Interessierte verstehen nicht gleich an der Thematik, dass bei Internet-Radio ein Stream (vom Client) angefragt werden muss, bevor er übertragen wird. Der Server schickt nicht einfach so einen Stream ins Internet, sondern nur auf gezielte Anfragen (Push-Modus, TCP, http-Stream, Internet-Radio). Ein zweiter entscheidender Punkt, der sich daraus ergibt: pro Client-Anfrage wird auch genau ein Stream verschickt. Wenn 5 Clients den selben Stream anfragen, sendet der Server auch die 5-fache Datenmenge. Das muss bei Bandbreite-Überlegungen mit berücksichtigt werden!

„Manchmal spricht man nicht von Bandbreite, sondern von Übertragungsgeschwindigkeit. In der digitalen Welt ist das im Prinzip das gleiche.“¹⁶⁰ Eine höhere Bitrate des

¹⁶⁰ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1303291.htm> „Übertragungstechnik“, 2014-12-31

Streams bedeutet zwar bessere Qualität für den Hörgenuss, wirkt sich aber nachteilig für den Server aus, weil der dementsprechend mehr Daten verteilen muss (Übertragungsrate/ digitale Bandbreite).

Beispiel: Der Streaming-Server von Proton hatte bei einem Rekord 26 Ogg-Clients bedient (~80kbps mono) und 3 mp3-Streams (64kbps mono). Welche Datenmengen sind dabei zusammen gekommen?

26 Mal 80 kilobits pro Sekunde und 3 Mal 64kbps ergibt:

$(26 \cdot 80 + 3 \cdot 64) \text{ kbps} = 2'272 \text{ kbps}$; mit einer Tausender-Potenz von Kilo auf Mega gerechnet, ergibt das ein Daten-Upload des Servers (ins Internet) von 2,27 MegaBit pro Sekunde.

Eventuell wollten noch mehr Hörer einen Stream beziehen, wurden aber nicht mehr vom Server bedient, weil dieser überlastet war und die Bandbreite der Leitung (Datenvolumen) des Uploads nicht ausreichte.

Die Beantwortung der Frage „Ist eine kleine oder große Bitrate für den Stream besser?“ ist nur mit ein paar mehr Informationen gut zu beantworten. Schließlich muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen Datenmenge und Hörqualität.

Kleinere Bitrate – Pro:

- + kleine Datenmenge
- + mehr Streams bei vorgegebener Bandbreite möglich
- + geringer Upload vom Server/ geringerer Download vom Client nötig

Kleinere Bitrate – Kontra:

- **der Hörgenuss** - ein starkes Gegenargument! Ist denn die Bitrate noch angenehm anzuhören? Typischer Standard ist heute: mp3, 128kbps, stereo; wobei das im Steigen ist und Richtung 192kbps geht.

4.6.2 Multicast

Um den Streaming-Server zu entlasten, kann Multicast als eine Lösung verwendet werden.

Dafür ist ein 'Switch' (der Netzwerk-Verteiler, der auf der OSI-Schicht 4 „Transport“ arbeitet^{161 162}) mit 'IGMP snooping' nötig. Er gibt den Stream an einen speziellen Adressbereich an jene Gruppe weiter, die „angemeldet“ ist. 'Switches', die kein 'IGMP snooping' können, geben den Stream an alle weiter (Broadcast). Das führt mitunter zu großen Datenmengen und verlangsamt das Netzwerk. Im Internet ist nur das klassische Client-Server-Prinzip möglich. In virtuellen Teilnetzen mit den passend ausgerüsteten Knotenpunkten, wie dem 'Multicast Backbone' (Mbone), kann die Übertragungstechnik von Multicast angewendet werden.¹⁶³

161 Vgl. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0301201.htm> „ISO/OSI-7-Schichtenmodell“, 2014-12-28

162 Vgl. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0706101.htm> „OSI-Schichtenmodell in der Netzwerktechnik“, 2014-12-28

163 Vgl. <http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~sunny/iNetMM/MultimedialmNetz.6.html> „Das Multicast Backbone (MBO-NE) Netz“, 2015-05-01

5 Kostenvergleich

Übertragung über Internet, Zubringer

Eine Übertragung über Internet bringt gegenüber analogen Leitungen eine deutliche Ersparnis. Die Umsetzung dieses Projekts bringt seit 2009 Proton eine monatliche Ersparnis von 1'550 €. Aber auch bei Verwendung von ISDN-Leitungen mit einer monatlichen Gebühr von ein paar Hundert Euro lohnt sich der Umstieg. Die Anschaffungskosten des Übertragungssystems und Erst-Konfigurationskosten haben sich schnell amortisiert!

Die Internet-Leitung sollte aber stärker ausgelegt sein. Einige Radiostationen schaffen sich für diesen Zweck eine eigene Leitung an, die separat nur für den Sender-Zubringer eingesetzt wird.¹⁶⁴ Diese Mehrkosten müssen in der Kosten-Kalkulation berücksichtigt werden. Proton hat keine eigene Internet-Leitung für die Übertragung zum Sender. Es ist aber ein QoS-System eingerichtet, dass die Zuliefer-Streams im Datenverkehr bevorzugt.

Bei Proton läuft die Übertragung auf der Empfängerseite mit einem Barix 'Exstreamer 100'. Auf der Senderseite kommt der gleiche Linux-Rechner zum Einsatz, der auch die Audio-Signal-Aufbereitung erledigt.

Die empfohlene Lösung von Barix ist als „Sender“ und „Empfänger“ zwei 'Exstreamer 500' als bezahlpflichtige Hardware-Komponenten, die sich auf 1'100 € belaufen. (Die Firmware/ Software wird kostenfrei mit dem Kauf der Hardware zur Verfügung gestellt.) Um die Firmware 'Studio Transmitter Link' zu verwenden, ist eine fixe IP-Adresse nötig, sowie Fachkenntnisse in der Konfiguration von Netzwerken. Barix bietet als einfache Lösung 'Reflector' an, der keine fixe IP benötigt. Die dafür verwendete Hardware ist dieselbe.¹⁶⁵ Die monatlichen Kosten dafür betragen 25 \$.¹⁶⁶

Audio-Signal-Aufbereitung

Wenn Geld keine große Rolle spielt, leistet sich eine Radiostation das „Flaggschiff“ von Orban, den Optimod-FM 8600 zur Signal-Aufbereitung.¹⁶⁷ Der Preis hierfür wird auf

¹⁶⁴ Fachgespräch mit David Gostack, Barix Product-Manager, 2015-02-12

¹⁶⁵ Fachgespräch mit Stefan Giessler, Barix Support, 2015-05-24

¹⁶⁶ Vgl. http://www.streamguys.com/streamingservices/barix_reflector.php „Reflector Service“, 2015-02-15

¹⁶⁷ Vgl. http://www.audioexport.de/live/orban_48963_DEU_AE.html „Orban, den Optimod-FM 8600“, 2015-05-01

'broadcastpartners.com' mit 7'900 € angegeben.¹⁶⁸ Bei 'radioworld.com', die diesen Optimod auf ihrer Website vorstellen, ist die Rede von 11'000 \$ (entspricht 9'800 € im Mai 2015). Dazu kommen Installations- und Erst-Einstellungskosten mit Kontroll-Messungen. (Geschätzt: 2'000 €)

Bei Proton erledigt das Soundprocessing ein leistungsstarker Linux-Computer. (Anschaffungskosten: 750 €) Die Einrichtung und Konfiguration des Systems erfolgte in ehrenamtlicher Arbeit.

Gegenüberstellung, Vergleich:

Komponente	Kosten
Sender, für den Geld keine große Rolle spielt	
Audio-Signal-Aufbereitung Optimod-FM 8600 mit Erst-Einrichtung	10'000 €
Barix 'Exstreamer 500' (2 Stück, bidirektionaler Einsatz des 500er möglich)	1'100 €
Kleinmaterial- und, Netzwerk-Einrichtungskosten	600
Summe für Sender:	11'700 €
Proton	
Linux-Computer	750 €
Barix 'Exstreamer 100' (Stream-Client, „Empfänger“)	150 €
Summe für Proton:	900 €

Tabelle 2: Kostenaufstellung im Vergleich

¹⁶⁸ Vgl. <http://www.broadcastpartners.com/orban-optimod-fm-8600.html> „Orban, den Optimod-FM 8600“, 2015-05-01

6 Fazit und Schluss

*„Gute Abstimmarbeiten in der ganzen Sendekette [...] führen gleichzeitig zu idealem Klang, einem ganzheitlichen und auch technischem Konzept“.*¹⁶⁹

Die Zusammenstellung in dieser Bachelorarbeit soll als Kompendium dienen und ermutigen, sich mit Streaming, Audio-Signalprocessing sowie mit Sendewege-Optimierung auseinander zu setzen. Die gesamte Sendekette von 'Proton – das freie Radio' wurde beleuchtet. Soundprocessing-Berater Stefan Scheurer klagt über das wenige „Spezialwissen“ im Bereich der Sendewege-Optimierung.¹⁷⁰ Damit das nicht so bleibt, soll diese Arbeit einen Beitrag leisten, um Informationen transparenter zu machen. Das Wissen kann für die Realisierung von Live-Übertragungen und Internet-Radio verwendet werden. Es soll anderen Radio-Technikern behilflich sein, ihr Wissen zu erweitern.

These im Rückblick

Schwache finanzielle Mittel waren die Grundlagen und Einschränkungen von 'Proton – das freie Radio'. Deshalb musste kreativ nach technischen und kostengünstigen Lösungen gesucht werden.

Ja, es ist möglich, mit geringen Mitteln einen UKW-Sender zu betreiben. Den tatsächlichen Beweis erbringt der aufrechte Betrieb der Ausstrahlung von 'Proton – das freie Radio'.

Erfreulicherweise sind im Ergebnis die Ausfall-Zeiten gering. Die Sende-Signal-Aussteuerung ginge besser, beruht aber auf kostenloser Open-Source-Software.

Abschließendes Fazit, Verdeutlichung der Position des Autors

In dieser Bachelorarbeit wurden Vergleiche und Abwägungen getroffen. Jeder an Technik interessierte und entsprechend motivierte Mensch kann sich das dafür notwendige Know-how aneignen, wenn er bereit ist, etwas Neues auszuprobieren.

¹⁶⁹ Scheurer Stefan; 2012/1, S 30

¹⁷⁰ Vgl. Scheurer Stefan; 2012/1, S 29

Der Wunsch mit wenigen finanziellen Mitteln, Radio zu machen, stellt eine Herausforderung dar. Um ihn umzusetzen, ist es nötig, sich mit der Materie noch mehr auseinander zu setzen, um kostengünstige Wege zu finden. Der Wunsch muss nicht aufgegeben werden und ein Projekt nicht automatisch am fehlenden Budget scheitern.

Die Recherche für diese Bachelorarbeit hat mich auf allen behandelten Fachgebieten bereichert. Vergleichend mit anderen Lösungen empfinde ich die Projekt-Umsetzung gut gelungen. Ich habe beim Schreiben dieser Arbeit viel gelernt und konnte mein technisches Detailwissen vertiefen.

Entwicklungsmöglichkeiten, Ausblick

Im Verlauf der Recherche hat sich ergeben, dass die Übertragung mit UDP technisch einwandfreier ist, als die zur Zeit genutzte http-Lösung. Eine Umstellung der Übertragung wäre ein möglicher Entwicklungsfortschritt.

So wie ich für meine Bachelorarbeit hilfreiche Informationen aus dem Internet erhalten habe, möchte ich ebenfalls meine Zusammenstellung im Internet als mögliche Gebrauchsanweisung zur Verfügung stellen.

Weiterhin wünschend:

Viel Spaß beim Hören von 'Radio Proton - das freie Radio':

Die letzte freie Stimme im Vorarlberger Mediensumpf!

Literaturverzeichnis

Bundesamt für Kommunikation BAKOM (Hg.), Schweizerische Eidgenossenschaft: Frequenzhub und Multiplexleistung von UKW-Sendern, Richtlinie des BAKOM betreffend die Anerkennung von Grenzwerten und Messverfahren. 2002, Stand 2007. Richtlinie abrufbar im Internet. URL: http://www.bakom.admin.ch/themen/radio_tv/01214/02248/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCDd4J_g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-- Stand: 22.4.2015.

CHANTELAU, Klaus / BROTHUHN, René: Multimediale Client-Server-Systeme. eXamen.press. Springer Berlin Heidelberg; 2009.

DICKREITER, Michael (Hrsg.) ... [et al.]: Handbuch der Tonstudientechnik [Elektronische Daten]. K G Saur München; 7. bearb. und erw. Aufl. 2008.

SCHEURER, Stefan: "Kein Ohrwurm: die neue EBU LAUTHEIT FÜR'S RADIO!". In: VDT Magazin. (Verband Deutscher Tonmeister) 2012, Heft 1. Artikel abrufbar im Internet. URL: <http://www.sengpielaudio.com/Scheurer-EBULautheitRadio.pdf> Stand: 14.4.2015.

STEINMETZ, Ralf: Multimedia-Technologie. Grundlagen, Komponenten und Systeme. Springer Berlin Heidelberg; überarbeitete Auflage, 2000.

PÉREZ, Juan Pablo Alegre / CELMA PUEYO, Santiago / LÓPEZ, Belén Calvo: Automatic Gain Control [Elektronische Daten] : Techniques and Architectures for RF Receivers. New York : Springer, 2011.

Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (Hg.), Geschäftsstelle der Kommunikationsbehörde Austria (KommAustria): Frequenzhub und Multiplexleistung von UKW-Sendern, Zusammenstellung der einschlägigen international verankerten Grenzwerte und zugehöriger Messverfahren. Zusammenstellung abrufbar im Internet. URL: HTTPS://WWW.RTR.AT/DE/M/SPITZENHUB/2121_INTERNATIONALE_GRENZWERTE_FREQUENZHUB.PDF Stand: 22.4.2015.

Anlagen

Anlage 1:	Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD	Seite XII
Anlage 2:	Messung des Frequenzhubs und der MPX-Leistung in Dornbirn-Stüben remote eingeloggt	Seite XVII
Anlage 3:	Mailverkehr mit BAKOM; zulässige Modulationsleistung in der Schweiz	Seite XIX
Anlage 4:	Mailverkehr mit IDT; Produkt-Zusatzinformationen FM MPX Limiter	Seite XXI
Anlage 5:	Jack-Dämon jackd; Aufruf und Erklärung einiger Parameter	Seite XXIII
Anlage 6:	Kommando-Zeilen-Aufrufe der LADSPA-Plugins mit Parameter-Ausführungen	Seite XXIV
Anlage 7:	Beispiel Streaming-Client-Software mplayer	Seite XXVI
Anlage 8:	darkice.cfg; Konfigurationsdatei für Live-Feed SW 'Darkice'	Seite XXVII
Anlage 9:	icecast.xml; Konfigurationsdatei für den http-Streaming-Server Icecast2	Seite XXIX

Anlage 1: Mailverkehr mit Florian Camerer, Chairman der EBU-Projektgruppe PLOUD

Ordnung der Mails chronologisch absteigend

Von: Florian Camerer
An: Norbert Hopfner
Betreff: AW: AW: Fragen zur EBU R128 an Sie, Ihre Erfahrungen
Datum: Mon, 20 Apr 2015 12:38:34 +0000 (20.04.2015 14:38:34)

Hallo,

ein Wort noch zu den -17 LUFS im Radio: in den Ländern mit MPX-Leistungsbegrenzung ist das ein Maximum, etliche Sender sind darunter (zum Bsp. Ö1, das liegt eher bei -19 LUFS). MPX und Messung nach ITU-R BS.1770 ist nicht das gleiche. Wir wollen zwar die MPX Messung idealerweise durch 1770 ersetzen, aber das ist noch ein langer Weg. Ja, beides sind Energiemessungen, aber 1770 hat die K-Bewertung, MPX nicht. Das ergibt je nach Material mehr oder weniger Unterschiede im Messergebnis.

Auch ist es so, dass es Toleranzen bezüglich 0dBr gibt, in manchen Ländern bis zu 3 dB nach oben! Und natürlich wird das total ausgereizt. Es wird echt Zeit, dass wir das im Radio auch nachhaltig lösen. Das wird allerdings noch Jahre dauern, bis dann alle auf digitale Übertragung umgestiegen sind....

Viele Grüße, Florian Camerer

-----Ursprüngliche Nachricht-----

Von: Norbert Hopfner
Gesendet: Sonntag, 19. April 2015 19:26
An: Camerer Florian Ing. - T-FSP
Betreff: Re: AW: Fragen zur EBU R128 an Sie, Ihre Erfahrungen

Guten Tag Herr Camerer,

ich danke Ihnen sehr für Ihre ausführlichen Antworten.

Ich habe sie in meine Bachelorarbeit eingearbeitet und werde Ihre Antworten und mein Fragemail in die Anlagen geben, auch als Quellennachweis. Ihr angesprochenes „Erstaunlicherweise“ habe ich komplett heraus genommen. Wahrscheinlich hatte ich nur die Empfehlung im Kopf und hatte zu wenig Einsicht, wieviel Arbeit

hinter der Realisierung der Lautheitsnormalisierung nach R128 steckte. Dafür will ich mich entschuldigen.

Ich danke Ihnen sehr für die Informationen, die Sie mir zu Radio gegeben haben. Die ist sonst nirgends transparent abrufbar. Interessant sind die -17 LUFS, die dann der MPX-Modulationsleistung 0 dBr entsprechen müssen. Die vorgeschriebenen Grenzwerte sind ein Themenblock, auf den ich ausgiebig eingehe; Auch auf die Helferlein Optimod und co. Ich fände es auch keinen Fehler, wenn ein Paradigmenwechsel stattfinden würde – hin zum Abmischen unter der Berücksichtigung von Dynamik.

Sie haben einen wertvollen Beitrag zu meiner Bachelorarbeit geleistet!
Danke.

Ich verbleibe mit freundlichen Grüßen,
Norbert Hopfner

Von: Florian Camerer

An: Norbert Hopfner

Betreff: AW: Fragen zur EBU R128 an Sie, Ihre Erfahrungen

Datum: Mon, 13 Apr 2015 18:48:25 +0000 (13.04.2015 20:48:25)

Hallo Herr Hopfner,

zu den Fragen/Bitten:

1) Ja, Sie können die Grafiken verwenden, wenn Sie die Quelle (mich) angeben.
2) Ja, es liegt im Ermessen der Broadcaster selbst, ob sie R 128 umsetzen wollen oder nicht. Das ist insoweit gültig, wenn nicht die rundfunktechnische Regulierungsbehörde R 128 als nationales Gesetz erlassen hat, wie zB in Frankreich (dort heißt das CSA); in den deutschsprachigen Ländern basiert das alles auf Freiwilligkeit, was gut ist, denn dann haben alle eine Motivation; dass dies in Deutschland und Österreich an einem einzigen Tag gleichzeitig für alle Privaten und Öffentlich-rechtlichen gelungen ist, erachte ich als Wunder.

(Rückmeldung zum Ausschnitt nach Punkt 4)

3) Im TV hat sich der Umstieg sehr bewährt. Die Lautheitssprungbeschwerden sind eklatant zurückgegangen. Die Werbung hat endlich Chancen- und Waffengleichheit. Die Werbung nutzt mehr Dynamik und muss sich inhaltsmäßig mehr einfallen lassen. Dynamische Mischungen überleben viel besser als früher, Dynamik wird belohnt, Totkomprimieren bestraft.

Also generell ist große Erleichterung bei allen zu spüren, bei den Studios als auch bei den Konsumenten. Es gibt natürlich nach wie vor Ausreißer, aber die stechen jetzt ordentlich heraus und werden behandelt. Wir sind noch nicht 100% dort, wo wir hinwollen, aber in den Ländern, die umgestiegen sind, sicher 90%. Die kritische Masse im TV ist erreicht, es ist nur mehr eine Frage, wann ein Sender umsteigt, nicht, ob. Unklarheiten bei so einem großen Umstieg gibt es immer, das war zu erwarten. Aber das legt

gnalaufbereitung, andererseits um Übertragung und Ausstrahlung.

Ich setze mich schon eine ganze Zeit mit dem Thema auseinander und bin vor einer Weile auf Ihre Arbeiten bei der EBU in der Arbeitsgruppe P/Loud gestoßen.

In den letzten Tagen schreibe ich das alles zusammen und belege es mit Quellen. Aber nicht alles lässt sich so richtig im Internet aufspüren.

Deshalb wollte ich Sie

1) fragen und bitten, ob ich denn Ihre Bilder in meiner BA verwenden darf? Ich hänge sie hier an, damit Sie wissen, welche ich meine.

2) Habe ich noch eine Verständnis-Frage. Die EBU hat die R128 als Empfehlung heraus gegeben. Ob sich da einzelne Staaten, Privatfernsehen und Öffentlich-Rechtliches daran halten, ist deren Sache - oder?

Ich habe dazu auch einen Ausschnitt aus meiner BA angehängt. Ich wäre Ihnen dankbar, wenn Sie dort mal ein prüfendes Auge darauf werfen könnten?

(Ich hab mich auch versucht zu registrieren auf tonthemen.de, aber ich scheine zu wenig Berufserfahrung zu haben, als das ich da eine Rückmeldung, noch Login bekommen würde. Naja, ich hab die wichtigen Infos ja schon...)

3) Welche Rückmeldungen haben Sie bekommen zur Einführung der R128? Ich habe auf der Seite der RTR die Unterlagen von Herrn Kühne gefunden, der über die Einführung in der Schweiz referiert hat. (Das ist inzwischen nicht mehr online - leider.) Er schreibt in der Präsentation:

[...] Die Werbung passt sich perfekt ins Programm ein [...]

Was sind Ihre Erfahrungen? Wie kommt die R128 an im Fernsehen?
Herrscht(e) großes Jammern oder gab es einige Unklarheiten (gerade in den Tagen der neuen Einführung)?

4) Wissen Sie etwas über Gedanken zur Einführung einer ähnlichen Empfehlung wie die R128 bei UKW oder DAB+?

In dem 'tonthemen.de' Forums-Thread wurde erwähnt, dass es beim NDR einen Test-Versuch gab.

<http://www.tonthemen.de/viewtopic.php?p=17953#p17953>

Aber diese Daten sind leider alle nicht mehr up-to-date. Hat sich da etwas getan? Wissen Sie dazu etwas/ mehr?

In diesem Artikel

<http://www.sengpielaudio.com/Scheurer-EBULautheitRadio.pdf>

wird ganz am Ende erwähnt, dass Norwegen das für DAB+ eingeführt hat.

(Aktuell war der im VDT-Magazin (Verband Deutscher Tonmeister) Heft 1 - 2012 auf den Seiten 29 bis 31))

Solange UKW läuft, wird auf -15 LUFS der Richtwert festgelegt, wenn UKW dann abgeschaltet wird, soll auf -23 LUFS reduziert werden.

Gibt es weitere/ andere, neue Ansätze beim Radio, analog und digital, die durch die Europäische Rundfunkunion (EBU) angestrebt werden?

Oh, das Mail ist doch länger geworden, als ich dachte. Ich hoffe, Sie haben die Geduld, das alles zu lesen. Ich bitte Sie um ein paar Antworten und würde mich sehr über solche freuen. Die können auch kurz ausfallen... (Ich kann sie auch an meine Hochschule weitergeben.

Normalerweise sucht der Journalistik-Professor Hr. Müller nach solchem Material und freut sich bestimmt über exklusive Antworten)

Ich würde Sie aber auch bitten, mir zeitnah zu antworten. Am 5.5. muss die Arbeit fix und fertig sein; denn dann ist der letzte Einreichungstag. (Entschuldigen Sie auch, dass ich Ihnen nicht schon früher geschrieben habe.)

Ich verbleibe mit freundlichen Grüßen,
Norbert Hopfner

Anlage 2: Messung des Frequenzhubs und der MPX-Leistung in Dornbirn-Stüben remote eingeloggt

Messung durchgeführt am: 2015-04-18

UKW-Monitor-Software: 'DB4004 - Advanced FM Monitoring Receiver' von 'Deva Broadcast'

Messzeitraum: über 1 Stunde

1. 'Proton – das freie Radio' auf der Frequenz 101,1 MHz

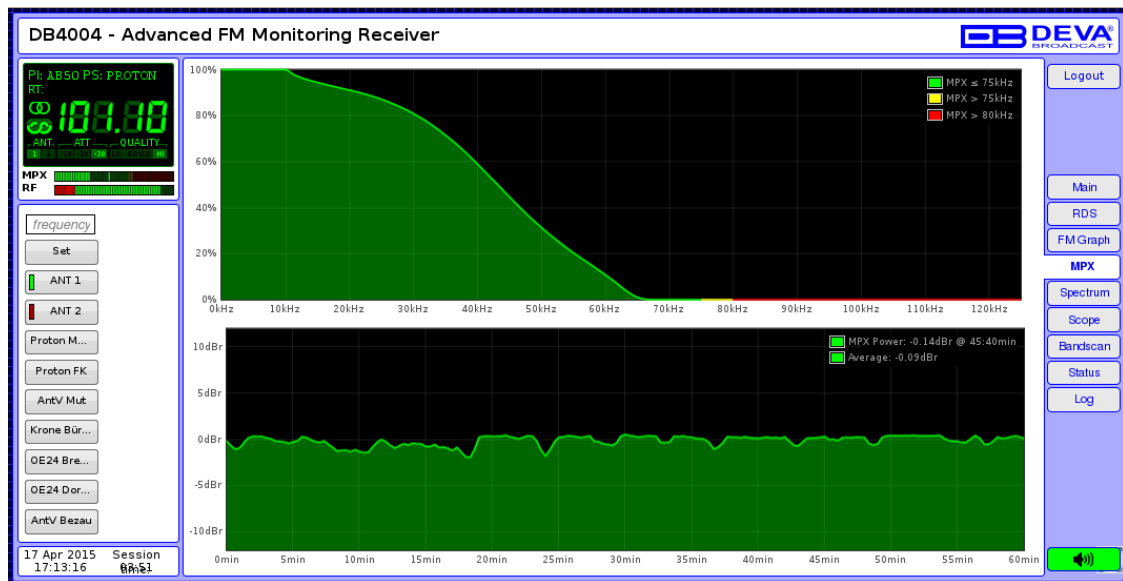


Abbildung 13: Frequenzhub und MPX-Leistung von Proton 101.1, gemessen mit der Deva UKW-Monitor-Software

(2. 'Hitradio Ö3' auf der Frequenz 88,6 MHz – siehe nächste Seite)

2. 'Hitradio Ö3' auf der Frequenz 88,6 MHz

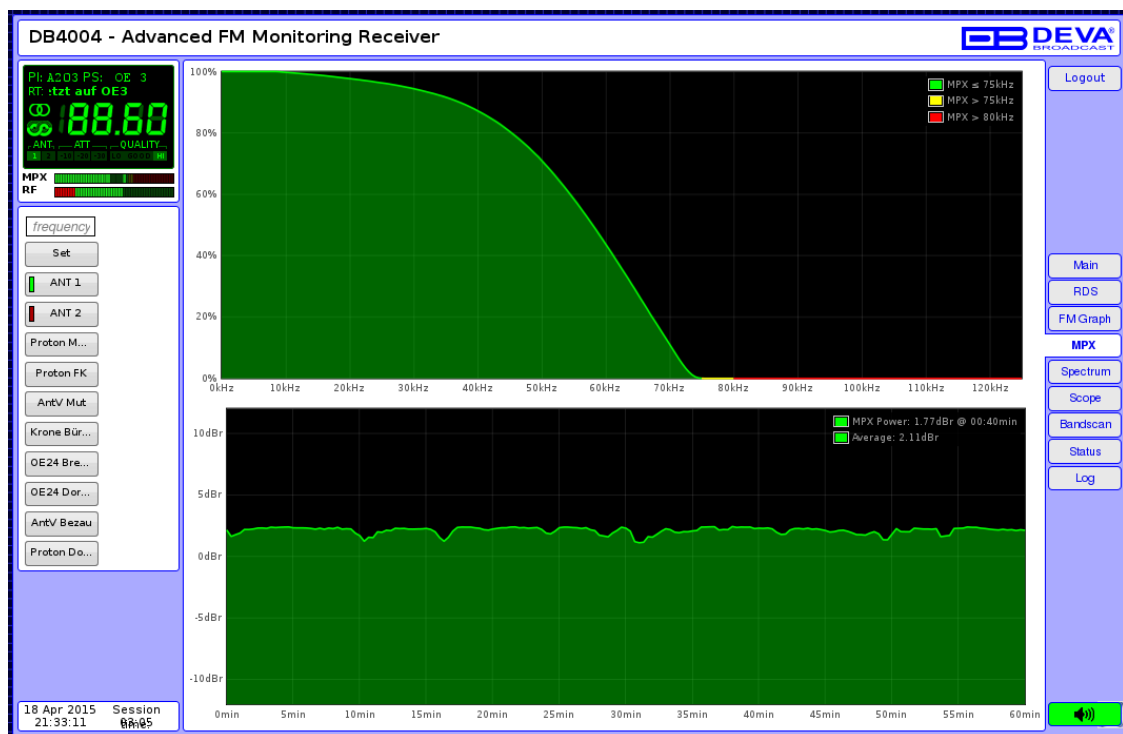


Abbildung 14: Frequenzhub und MPX-Leistung von Ö3 88,6,
gemessen mit der Deva UKW-Monitor-Software

Anlage 3: Mailverkehr mit BAKOM; zulässige Modulationsleistung in der Schweiz

Ordnung der Mails chronologisch absteigend

Von: Konrad Vonlanthen

An: Norbert Hopfner

Betreff: WG: Fachkontakt Anfrage: Toleranz Modulationsleistung in dBr

Datum: Thu, 23 Apr 2015 11:54:08 +0000 (23.04.2015 13:54:08)

Sehr geehrter Herr Hopfner

Besten Dank für Ihre Anfrage. Ich hoffe, die Antwort treffe noch rechtzeitig vor Redaktionsschluss Ihrer Arbeit ein.

Die zulässige Modulationsleistung in der Schweiz ist in der referenzierten Richtlinie in Ihrer Anfrage festgelegt.

Sie beträgt +3 dBr.

In der Schweiz haben sich die Veranstalter und das BAKOM im Jahr 2002 als Kompromiss zwischen Planungsempfehlung der ITU und der „Hub/MPX-Konkurrenz“ vor allem aus Frankreich und Italien auf die in der Schweizerischen Richtlinie festgelegten Werte geeinigt.

Die Richtlinie ist zwar bezüglich der empfohlenen Messgeräte veraltet, ansonsten ist sie aber bezüglich Toleranzen immer noch gültig.

Das BAKOM überprüft die Einhaltung der Werte nicht systematisch. Jährlich werden stichprobeweise einzelne Sendeanlagen auf die Konformität mit allen konzessionierten Parametern kontrolliert und falls notwendig die unzulässigen Parameter korrigiert.

Freundliche Grüsse

Konrad Vonlanthen

Leiter Frequenzuteilung

Bundesamt für Kommunikation BAKOM

-----Ursprüngliche Nachricht-----

Von: Norbert Hopfner

Gesendet: Mittwoch, 22. April 2015 22:24

An: BAKOM-Info

Betreff: Fachkontakt Anfrage: Toleranz Modulationsleistung in dBr

Guten Tag,

ich wollte zur Recherche für meine wissenschaftliche Arbeit "Die Signalkette bei 'Proton - das freie Radio' - vom Ausspieler bis zum Sender" nachfragen, wie hoch denn in der Schweiz die Toleranz für die MPX-Leistung bei UKW-Ausstrahlung ist und ab wann abgestraft wird?

In Ihrer Richtlinie

http://www.bakom.admin.ch/themen/radio_tv/01214/02248/index.html?

[lang=de&download=NHZLpZeg7t.lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCDd4J_g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--](#) ist die Rede von +3dBr.

Florian Camerer, Tonmeister vom ORF, hat mir geschrieben, dass die Toleranz bis zu 3dB ist. Der internationale Grenzwert der "MPX-Leistung darf gemäß ITU-R BS.412-9, Punkt 2.5 den Wert von +0 dBr nicht überschreiten." (steht im Infoblatt der österreichischen Regulierungsbehörde; siehe:

https://www.rtr.at/de/m/Spitzenhub/2121_Internationale_Grenzwerte_Frequenzhub.pdf, „Frequenzhub und Multiplexleistung bei UKW-Sendern“, 2015-04-19

Kommen die +3dB von der geduldeten Toleranz? Stimmt das?

Ich hatte am Wochenende eine Diskussion mit einem praktischen Fachmann aus Vorarlberg (angrenzendes Österreich), der das genau umgekehrt im Kopf hatte, als ich das aus den Web-Präsenzen heraus lese; in denen steht: bis zu +3dBr in der Schweiz und 0dBr in Österreich. Deshalb frage ich bei Ihnen als Fachstelle nach ...

Ich wäre Ihnen dankbar, wenn sie mir rasch (innerhalb einer Woche) antworten könnten. (Die Abgabe meiner Arbeit ist in schon in 1½ Wochen. Spätere Antworten kann ich leider nicht mehr verwerten.)

Mit freundlichen Grüßen und hoffend auf das Eintreffen einer rechtzeitigen Antwort,
Ing. Hopfner Norbert

Anlage 4: Mailverkehr mit IDT; Produkt-Zusatzinformationen FM MPX Limiter

Von: Sébastien Widmer - IDT

An: Norbert Hopfner

Betreff: RE: Demande de Contact du site Web idt-fr.com

Datum: Thu, 23 Apr 2015 12:15:18 +0200

Dear Norbert,

Sorry for the answer timing.

Our processor was the first processor to respect really the Mpx Power (since 2000).

Actually, we have 1U unit who produce 4 band processing (AGC WIDEBAND, 4 band Compressor, limiter, gate) , clipping HF and FM.

Inside, you have the possibility to insert plugins :

MPX GUARD : for the MPX POWER.

RDS encoder : To make RDS

Stéréo Boost : To have a spacial control to L-R

The price : one unit = 2500 EUROS EXC VAT.

Naturally, we can make a best effort for much unit.

Sorry for my bad English, I'm in train and no possibilities to have a good traductor.

Best regards,

Sébastien

IDT SUPPORT

De : Norbert Ing.Hopfner

Envoyé : jeudi 16 avril 2015 03:40

Objet : Demande de Contact du site Web idt-fr.com

Société : working at my scientific thesis; voluntary service @ 'Proton - das freie Radio'

Nom : Ing. Hopfner

Prénom : Norbert

Question :

Hello, I am very interested in your audio processor for FM-radios. I have done some research for my bachelor-thesis about "the signal-chain at 'Proton - das freie Radio' - from outplay to transmitter". Broadcasting has been focused for some chapters and the limitations by law. I have got the information that your devices can control the frequency deviation (in Austria limited to 75kHz) and the MPX-power (limitation in AUT: 0dB). Your competitor is Orban Optimod. They are market leader. Here in broadcast everyone, who is in FM-Radio department, knows, what is meant with Optimod for FM. But you have an alternative! (Hopefully my bachelor-thesis makes your company brand wider known and spread. Also in German speaking countries. It seems, it is an insider tip here.) Can I adhere the limitations of law (75kHz, 0dB MPX) with your device? Which modules/plugin-ins would be needed? Why should the customer buy your devices? What is your pricing? How do you distribute your devices? I have seen, that you use plug-ins for the MPX-power? How much do they cost? (I am happy with a rounded number. I want to know, if it is 10, 100, 1'000 or 10'000 Euros ;-). As the deadline of my bachelor-thesis is going to come up soon (2 weeks left, but I want to freeze it next week), I would appreciate your answer fast. I want to include it in due time. Maybe I can phone up your support this upcoming Friday, 17th of April to check all my questions? Can you give me some phone-number? I would appreciate that. Best regards, Norbert Hopfner

Anlage 5: Jack-Dämon jackd; Aufruf und Erklärung einiger Parameter

Proton-spezifischer Aufruf

Der Jack-Dämon wird mit einer ganzen Reihe an Parametern in der Kommando-Zeile gestartet:

```
/usr/bin/jackd -realtime -dalsa -p32 -dhw:0 -r44100 -p1024 -n2
```

Der 'jackd' beruht auf dem Linux-Soundkarten-Treiber ALSA bzw. es gibt auch noch andere mögliche Audiomodule, auf denen Jack aufbauen kann. Wir verwenden ALSA, was durch den Parameter „-d“ angegeben wird. Außerdem ist Realtime gewünscht, was sich im ersten angeführten Parameter ausdrückt. „-p“ gibt die maximale Port-Anzahl an. „-r“ die Abtastfrequenz; „-p“ gibt so eine Art Puffer als „ALSA BACKEND OPTIONS“ an. Aus den Manual-Seiten von Linux:

„-p, --period int ; Specify the number of frames between JACK process() calls. [...] If you need low latency, set -p as low as you can go without seeing xruns. [...] The JACK capture latency in seconds is --period divided by --rate.“¹⁷¹

„-n“ gibt den Hardware-Puffer an. „The JACK output latency in seconds is --nperiods times --period divided by --rate.“¹⁷²

¹⁷¹ Manual-Seite im Linux-Terminal, in dem das Programm installiert ist, \$ man jackd ; auch hier gelistet: [http://trac.jackaudio.org/wiki/jackd\(1\)](http://trac.jackaudio.org/wiki/jackd(1)) , 2014-06-14

¹⁷² Manual-Seite im Linux-Terminal, in dem das Programm installiert ist, \$ man jackd ; auch hier gelistet: [http://trac.jackaudio.org/wiki/jackd\(1\)](http://trac.jackaudio.org/wiki/jackd(1)) , 2014-06-14

Anlage 6: Kommando-Zeilen-Aufrufe der LADSPA-Plugins mit Parameter-Ausführungen

VLevel, AGC

Verwendeter CLI-Aufruf/ shell:

```
ecasound -i jack,system,vlev_eca_in -o jack,,vlev_eca_out -eli
1982,5,0.93,1,15
```

Hilfe-Text zu dem Plugin VLevel V0.5, erklärte Parameter-Abfolge, abgerufen am 2015-04-28:

```
user@linux-comp:~$ analyseplugin '/usr/local/lib/ladspa/vlevel-ladspa.so'
```

```
Plugin Name: "VLevel (Mono)"
```

```
Plugin Label: "vlevel_mono"
```

```
Plugin Unique ID: 1981
```

```
Maker: "Tom Felker"
```

```
Copyright: "GPL"
```

```
Must Run Real-Time: No
```

```
Has activate() Function: Yes
```

```
Has deactivate() Function: Yes
```

```
Has run_adding() Function: No
```

```
Environment: Normal
```

```
Ports: "Look-ahead (seconds)" input, control, 0 to 5, default 2.5
```

```
"Strength" input, control, 0 to 1, default 0.75
```

```
"Use Maximum Multiplier" input, control, toggled, default 1
```

```
"Maximum Multiplier" input, control, 0 to 20, default 10
```

```
"Undo" input, control, toggled, default 0
```

```
"Current Multiplier" output, control, 0 to 20
```

```
"Input 1" input, audio
```

```
"Output 1" output, audio
```

```
Plugin Name: "VLevel (Stereo)"
```

```
Plugin Label: "vlevel_stereo"
```

```
Plugin Unique ID: 1982
```

```
Maker: "Tom Felker"
```

```
Copyright: "GPL"
```

```
Must Run Real-Time: No
```

```
Has activate() Function: Yes
```

```
Has deactivate() Function: Yes
```

```
Has run_adding() Function: No
```

```
Environment: Normal
```

```
Ports: "Look-ahead (seconds)" input, control, 0 to 5, default 2.5
```

```
"Strength" input, control, 0 to 1, default 0.75
```

```
"Use Maximum Multiplier" input, control, toggled, default 1
```

```
"Maximum Multiplier" input, control, 0 to 20, default 10
```

```
"Undo" input, control, toggled, default 0
```

```
"Current Multiplier" output, control, 0 to 20
```

```
"Input 1" input, audio
```

```
"Output 1" output, audio
```

```
"Input 2" input, audio
```

```
"Output 2" output, audio
```

Hublimit, RMS-Kompressor

Verwendeter CLI-Aufruf/ shell:

```
ecasound -i jack,,Hubl_eca_in -o jack,StreamerDarkice,Hubl_eca_out -eli
1882,0,1.5,800,-4.44,20,3,0
```

Hilfe-Text zu den Plugins, erklärte Parameter-Abfolge, abgerufen am 2014-03-16 in Ubuntu

12.04:

```
user@linux-comp:~$ analyseplugin /usr/lib/ladspa/sc4_1882.so
```

```
Plugin Name: "SC4"
```

```
Plugin Label: "sc4"
```


Plugin Unique ID: 1882
Maker: "Steve Harris <steve@plugin.org.uk>"
Copyright: "GPL"
Must Run Real-Time: No
Has activate() Function: No
Has deactivate() Function: No
Has run_adding() Function: Yes
Environment: Normal or Hard Real-Time
Ports: "RMS/peak" input, control, 0 to 1, default 0
 "Attack time (ms)" input, control, 1,5 to 400, default 101,125
 "Release time (ms)" input, control, 2 to 800, default 401
 "Threshold level (dB)" input, control, -30 to 0, default 0
 "Ratio (1:n)" input, control, 1 to 20, default 1
 "Knee radius (dB)" input, control, 1 to 10, default 3,25
 "Makeup gain (dB)" input, control, 0 to 24, default 0
 "Amplitude (dB)" output, control, -40 to 12
 "Gain reduction (dB)" output, control, -24 to 0
 "Left input" input, audio
 "Right input" input, audio
 "Left output" output, audio
 "Right output" output, audio

Anlage 7: Beispiel Streaming-Client-Software mplayer

Bei der Streaming-Client-Software 'mplayer', das ist ein Kommando-Zeilen basierter Player unter Linux, kann die Größe des Puffers ('buffer'/ 'cache') und auch die minimale Größe festgelegt werden. Wenn diese Parameter weg gelassen werden, verwendet der Player Default-Werte.¹⁷³

Ohne Parameterangaben waren es im Test mit einem Audio-Stream 64 kiloBytes.

Nicht der ganze Cache wird gefüllt, bevor das Abspielen startet, sondern nur ca. 4 Prozent. Danach wird 'mplayer' versuchen, den Cache während dem Abspielen nach zu füllen,¹⁷⁴ wie im Tutorial auf 'linuxacademy.com' steht.

Das konnte ebenfalls in einem Test mit dem Aufruf beobachtet werden:

```
mplayer -cache 128 -cache-min 4 mms://apasf.apa.at/fm4_live_worldwide
```

Beim Abspielen sieht man die sich ändernden Cache-Prozente, die sich von 8 bis 20 % bewegten. Beim nur halb so großen Default-Cache waren es 15 bis 35%.

¹⁷³ Vgl. <https://linuxacademy.com/blog/linux/tutorial-playing-around-with-mplayer/> , 2015-04-06

¹⁷⁴ Vgl. <https://linuxacademy.com/blog/linux/tutorial-playing-around-with-mplayer/> , 2015-04-06

Anlage 8: darkice.cfg; Konfigurationsdatei für Live-Feed SW 'Darkice'

```

# Das ist die verwendete Datei von 'Proton - das freie Radio' für die
# Konfiguration von darkice;
# Nicht alle Kommentare sind aktuell und zeitgemäß! ;- )

# sample DarkIce configuration file, edit for your needs before using
# see the darkice.cfg man page for details

# this section describes general aspects of the live streaming session
[general]
duration      = 0          # duration of encoding, in seconds. 0 means
forever
bufferSecs    = 10         # Buffer-Speicher in Sec, von Soundkarte bis zum
                           # Encoder
reconnect     = yes        # soll sich wieder verbinden; ist aber eigentlich
                           # eh default
realtime      = yes        # Use POSIX realtime scheduling, "yes" or "no".
                           # (optional parameter, defaults to "yes")

# this section describes the audio input that will be streamed
[input]
device        = jack        # jack_auto to automatically make Jack connect
                           # to the first source.
sampleRate    = 44100       # sample rate in Hz. try 11025, 22050 or 44100
bitsPerSample = 16          # bits per sample. try 16
channel       = 2           # channels. 1 = mono, 2 = stereo
jackClientName = StreamerDarkice

# this section describes a streaming connection to an IceCast2 server
# there may be up to 8 of these sections, named [icecast2-0] ... [icecast2-7]
# these can be mixed with [icecast-x] and [shoutcast-x] sections

[icecast2-0]
# fuern internen Server - FETTER VERSORGUNSSSTREAM
format        = vorbis
bitrateMode   = vbr         # constant bit rate
quality       = 0.6
maxBitrate    = 206         # geht nur fuer ogg
server        = localhost
               # IP und Port - Angabe von Lampert
port          = 7998        # port of the IceCast2 server, usually 8000
password      = ...
               # source password to the IceCast2 server
mountPoint    = fett.ogg
               # mount point of this stream on the IceCast2

[icecast2-1]
# fuer med-user
format        = mp3         # format of the stream: mp3
bitrateMode   = cbr         # constant bit rate
bitrate       = 96          # bitrate of the stream sent to the server;
GEAENDERT am 17.Maerz2014 von 64 (gespeichert 14Aug2012) auf 96
server        = localhost
               # IP und Port - Angabe von Lampert
port          = 7998        # port of the IceCast2 server, usually 8000
password      = ...
               # source password to the IceCast2 server
mountPoint    = proton
               # mount point of this stream on the IceCast2
               # server
# optional values fuer diesen Stream
sampleRate    = 44100       # fuer andere Werte als Input
channel       = 2           # fuer andere Werte als Input

```

```
lowpass      = 17500      # lame encoder filter settings, mit 0
                        # defaults used
# highpass    = 400      # sinnlos, weil erst f ueber 500 Hz aktivierbar

name         = Proton - das freie Radio
                        # name of the stream
description   = oeffentlicher Stream von Proton - das freie Radio
                        # description of the stream
url          = http://www.radioproton.at
                        # URL related to the stream
genre        = freies Radio | community radio
                        # genre of the stream
public       = yes       # advertise this stream?
```

```
[icecast2-2]
# fuer den med-user.net
format       = vorbis
bitrateMode  = vbr       # constant bit rate
quality      = 0.3       # 86kbps=0.4, 91kbps=0.45, 83kbps=0.35, 0.3=80kbps,
                        # 0.2=70kbps
maxBitrate   = 160       # geht nur fuer ogg
server       = localhost
                        # IP und Port - Angabe von Lampert
port         = 7998      # port of the IceCast2 server, usually 8000
password     = ...
                        # source password to the IceCast2 server
mountPoint   = protonquality.ogg
                        # mount point of this stream on the IceCast2
                        # server
# optional values fuer diesen Stream
channel      = 2         # geht nur fuer mp3s; fuer andere Werte als
                        # Input
name         = Proton - das freie Radio
                        # name of the stream
description   = Qualitaets-Stream von Proton - das freie Radio
                        # description of the stream
url          = http://www.radioproton.at
                        # URL related to the stream
genre        = freies Radio | community radio
                        # genre of the stream
public       = yes       # advertise this stream?
```

Anlage 9: icecast.xml; Konfigurationsdatei für den http-Streaming-Server Icecast2

```
<icecast>
  <limits>
    <clients>100</clients>
    <sources>5</sources>
    <threadpool>5</threadpool>
    <queue-size>524288</queue-size>
    <client-timeout>30</client-timeout>
    <header-timeout>15</header-timeout>
    <source-timeout>10</source-timeout>
    <!-- If enabled, this will provide a burst of data when a client
         first connects, thereby significantly reducing the startup
         time for listeners that do substantial buffering. However,
         it also significantly increases latency between the source
         client and listening client. For low-latency setups, you
         might want to disable this. -->
    <burst-on-connect>1</burst-on-connect>
    <!-- same as burst-on-connect, but this allows for being more
         specific on how much to burst. Most people won't need to
         change from the default 64k. Applies to all mountpoints -->
    <burst-size>65535</burst-size>
  </limits>

  <authentication>
    <!-- Sources log in with username 'source' -->
    <source-password> ... </source-password>
    <!-- Relays log in username 'relay' -->
    <relay-password> ... </relay-password>

    <!-- Admin logs in with the username given below -->
    <admin-user>admin</admin-user>
    <admin-password>... </admin-password>
  </authentication>

  <!-- set the mountpoint for a shoutcast source to use, the default if not
       specified is /stream but you can change it here if an alternative is
       wanted or an extension is required
  ...
  -->

  <!-- This is the hostname other people will use to connect to your server.
       It affects mainly the urls generated by Icecast for playlists and yp
       listings. -->
  <hostname>localhost</hostname>

  <!-- You may have multiple <listener> elements -->
  <listen-socket>
    <port>7998</port>
    <!-- <bind-address>127.0.0.1</bind-address> -->
    <!-- <shoutcast-mount>/stream</shoutcast-mount> -->
  </listen-socket>
  <!--
  <listen-socket>
    <port>8001</port>
  </listen-socket>
  -->

  <!--<master-server>127.0.0.1</master-server>-->
  <!--<master-server-port>8001</master-server-port>-->
  <!--<master-update-interval>120</master-update-interval>-->
  <!--<master-password>...</master-password>-->

  <!-- setting this makes all relays on-demand unless overridden, this is
```

```

        useful for master relays which do not have <relay> definitions here.
        The default is 0 -->
<!--<relays-on-demand>1</relays-on-demand>-->

<!--
<relay>
    <server>127.0.0.1</server>
    <port>8001</port>
    <mount>/example.ogg</mount>
    <local-mount>/different.ogg</local-mount>
    <on-demand>0</on-demand>

    <relay-shoutcast-metadata>0</relay-shoutcast-metadata>
</relay>
-->

<!-- Only define a <mount> section if you want to use advanced options,
      like alternative usernames or passwords
<mount> ...
</mount>

-->

<fileserve>1</fileserve>

<paths>
    <!-- basedir is only used if chroot is enabled -->
    <basedir>/usr/share/icecast2</basedir>

    <!-- Note that if <chroot> is turned on below, these paths must both
          be relative to the new root, not the original root -->
    <logdir>/var/log/icecast2</logdir>
    <webroot>/usr/share/icecast2/web</webroot>
    <adminroot>/usr/share/icecast2/admin</adminroot>
    <!-- <pidfile>/usr/share/icecast2/icecast.pid</pidfile> -->

    <!-- Aliases: treat requests for 'source' path as being for 'dest'
path      May be made specific to a port or bound address using the "port"
          and "bind-address" attributes.
          -->
    <!--
    <alias source="/foo" dest="/bar"/>
    -->
    <!-- Aliases: can also be used for simple redirections as well,
          this example will redirect all requests for http://server:port/
to         the status page
          -->
    <alias source="/" dest="/status.xml"/>
</paths>

<logging>
    <accesslog>access.log</accesslog>
    <errorlog>error.log</errorlog>
    <!-- <playlistlog>playlist.log</playlistlog> -->
    <loglevel>3</loglevel> <!-- 4 Debug, 3 Info, 2 Warn, 1 Error -->
    <logsize>10000</logsize> <!-- Max size of a logfile -->
    <!-- If logarchive is enabled (1), then when logsize is reached
playlist] the logfile will be moved to [error|access|
          otherwise it will be moved to [error|access|playlist].log.old.
          Default is non-archive mode (i.e. overwrite)
          -->
    <!-- <logarchive>1</logarchive> -->
</logging>

```

```
<security>
  <chroot>0</chroot>
  <!--
    <changeowner>
      <user>nobody</user>
      <group>nogroup</group>
    </changeowner>
  -->
</security>
</icecast>
```

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, den TT. Monat JJJJ

Vorname Nachname